BIBLIOTHÈQUE

D'ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Collection des « Pour Comprendre »

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

de l'Abbé **MOREUX**

Directeur de l'Observatoire de Bourges

POUR COMPRENDRE

L'ASTRONOMIE

A LA MÊME LIBRAIRIE

OUVRAGES DE L'ABBÉ MOREUX

Les influences astrales. 1 vol. in-16 de 200 pages avec 51 figures.

Atlas céleste, un volume de 12 planches avec légendes explicatives.

Étude de la lune avec dictionnaire sélénographique, *nouvelle édition*, un volume in-16 de 168 pages.

Les autres Mondes sont-ils habités ? *nouvelle édition*, un volume de 150 pages.

Science et Style, *Conseils à un jeune écrivain*, un vol. de 286 pages.

Que deviendrons-nous après la mort ? *nouvelle édition*, in-16 de 300 pages avec figures.

Les Confins de la Science et de la Foi, Tome I, *nouvelle édition*, un volume in-16 de 300 pages.

Les Confins de la Science et de la Foi, Tome II, *nouvelle édition*, un vol. in-16 de 300 pages.

Les Enigmes de la Science, Tome I, *nouvelle édition*, un vol. in-16 de 308 p. avec fig. dans le texte.

Les Enigmes de la Science, Tome II, un vol. in-16 de 292 pages.

La Science mystérieuse des Pharaons, *nouvelle édition*, un vol. in-16 de 240 p. avec fig. et 8 planches hors texte.

Construisez vous-même votre Poste de Téléphonie sans fil, *nouvelle édition*, un vol. in-16 de 250 p. avec 120 fig. dans le texte.

L'Atlantide a-t-elle existé ? Un vol. in-8 de 96 p. avec fig. et cartes.

L'Alchimie moderne, un vol. in-8 de 96 p. avec fig. et 2 pl.

La vie sur Mars, un vol. in-8 de 96 p. avec fig. et 2 pl. hors-texte.

Table de logarithmes à cinq décimales et tables diverses, un volume in-16 de 128 pages.

Bibliothèque d'éducation scientifique, **Collection des « Pour comprendre »,** voir liste des volumes parus au verso du titre.

POUR COMPRENDRE

L'ASTRONOMIE

PAR

l'Abbé **Th. MOREUX**
Chanoine honoraire
Directeur de l'Observatoire de Bourges

G. DOIN & C^IE
= ÉDITEURS =
8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS (VI^e)

Collection des « Pour Comprendre »

VOLUMES ÉCRITS PAR L'ABBÉ MOREUX :

SCIENCES :

Pour comprendre l'Astronomie ;
l'Astrophysique (P. ROUSSEAU).
Pour observer le Ciel — *Astronomie pratique*.
Pour s'initier à la Mécanique céleste.
Pour comprendre la Physique moderne ;
la Chimie moderne (E. CATTELAIN) ;
la Mécanique ;
l'Electricité (A. BOUTARIC).
Pour résoudre les problèmes d'Electricité (A. BOUTARIC).
Pour reconnaître les Fleurs.
Atlas de la flore simplifiée.

LANGUES ANCIENNES ET MODERNES

Pour comprendre le Latin ;
le Grec ;
l'Italien (H. MASSOUL) ;
l'Allemand (H. MASSOUL).
Pour écrire en Français.

MATHÉMATIQUES :

Pour comprendre l'Algèbre ;
la Géométrie plane ;
la Géométrie dans l'espace ;
la Géométrie analytique ;
la Géométrie descriptive ;
le Calcul différentiel ;
le Calcul Intégral (G. DURAND) ;
le Calcul des probabilités ;
(P. FÉRIGNAC et E. MORICE) ;
le Calcul vectoriel (J. BRETON) ;
la Trigonométrie (G. DURAND) ;
les Méthodes statistiques (P. FÉRIGNAC et E. MORICE) (*sous presse*) ;
Pour continuer l'Algèbre ;
le Calcul différentiel (F. BEER) ;
le Calcul Intégral (R. TATON) ;
la Géométrie plane (J. BRETON).

DIVERS :

Pour comprendre la Philosophie.
Pour utiliser le microscope (M. LAMBINET).
Pour comprendre la Théologie (D. GORCE).

POUR COMPRENDRE L'ASTRONOMIE

BUT DE CET OUVRAGE

L'Astronomie est une science si vaste et si complexe qu'il serait tout à fait dérisoire de prétendre arriver à la condenser en quelque 200 pages. Ce n'est pas d'ailleurs ce que me demandent les lecteurs de cette *Collection.*

« Nous avons lu, m'ont-ils dit en substance, presque tous vos ouvrages de vulgarisation relatifs à la science d'Uranie ; quelques-uns sont à la portée du grand public et même des tout jeunes gens, mais si l'Astronomie y est présentée d'une façon pittoresque et attrayante, elle y est restée le plus souvent purement descriptive. Quant à vos *Cosmographies* à l'usage des candidats au baccalauréat et à vos ouvrages par trop techniques, ils dépassent de beaucoup nos moyens de compréhension. Ce que nous désirons, c'est une *Initiation* d'un autre genre, *quelque chose qui n'existe pas encore sous une forme vulgarisée,* un *exposé aussi simple que possible des méthodes* qu'utilisent les astronomes pour arpenter le Ciel, par exemple, pour mesurer les distances des astres, pour calculer leurs masses, etc. Jusqu'ici, nous vous

avons cru sur parole lorsque vous aligniez devant nous, c'est le cas de le dire, des chiffres astronomiques, mais nous n'avons pas compris comment les astronomes peuvent arriver à de tels résultats ».

Ce souhait, exprimé chaque année par des centaines de lecteurs, m'a paru dès l'abord assez difficile à exaucer, mais, après bien des hésitations, je me suis laissé tenter par une tâche aussi intéressante que malaisée. Il y a là tout au moins matière à une belle expérience.

Dans un texte qui est destiné à vulgariser nos méthodes, il ne saurait être question d'introduire des formules mathématiques compliquées. Tout y sera donc présenté avec le maximum de simplicité, et je pense qu'un lecteur connaissant le système métrique, les quatre opérations de l'Arithmétique, les règles de trois, et quelques rudiments de Géométrie sera à même de *comprendre* les principes sur lesquels s'appuient les astronomes pour explorer et jauger l'Univers, dont les lois grandioses sont bien faites pour élever et émerveiller nos esprits.

Ainsi présentée, une INITIATION à l'Astronomie, la plus belle des sciences, restera, ce me semble, dans le véritable esprit de cette *Collection*. A mes lecteurs de me dire plus tard si j'ai atteint le but que je me suis proposé.

PREMIÈRE LEÇON

NOTRE OBSERVATOIRE TERRESTRE.

Pour un soir, cher lecteur, vous délaisserez le cinéma. Je vous convie à une séance autrement suggestive : je voudrais vous donner votre première leçon d'Astronomie.

Suivez-moi donc et allons ensemble observer le Ciel en pleine campagne, à l'écart de toute lumière qui pourrait atténuer l'éclat des étoiles.

A contempler ainsi ce que la Bible appelle l'*armée céleste*, ce que nous apprendrons vaudra bien la peine du déplacement. Pour tout bagage, nous emporterons avec nous une bonne longue-vue montée sur un trépied et, munis de ce simple instrument grossissant 25 fois, nous serons encore mieux outillés que l'était GALILÉE, lorsqu'en 1609, il essaya sur la Lune et le Soleil sa première lunette, appareil rudimentaire qui ne grossissait que 3 fois. Il est vrai que le savant physicien n'en resta pas là et qu'il parvint plus tard à construire des lunettes grossissant 32 fois et même jusqu'à 100 fois les objets

1. Qu'est-ce que la sphère céleste ?

Mais pendant que nous bavardons, nous voici parvenus à notre lieu d'observation. Au reste, la nuit est complète et toutes les étoiles scintillent à qui mieux mieux sur la *voûte céleste*, pour employer une expression consacrée par un long usage. La métaphore n'offre d'ailleurs rien de forcé : toutes les étoiles semblent bien, en effet, être piquées à l'intérieur d'une vaste coupole. Evidemment, ce n'est là qu'apparence. En l'absence de tout point de repère, nous situons toutes ces lumières clignotantes sur une même surface et à des distances égales de notre œil. Maintenant que nous connaissons leur éloignement réel, et qui varie avec chaque étoile, nous ne pouvons néanmoins nous défendre d'une illusion invincible et nous projetons tous les astres sur une sphère imaginaire de rayon infini, pour ainsi dire.

Les astronomes eux-mêmes, depuis un temps immémorial, appellent *sphère céleste* cette voûte immense qu'ils représentent sous la forme d'un globe à la surface duquel ils reportent les positions respectives des étoiles.

Maintenant, commençons par nous orienter. Sans doute connaissez-vous tous la constellation dénommée *Grande Ourse*, celle-là même que les gens de la campagne ont baptisée du nom de *Grand Chariot* (fig. 1). Et cette dernière appellation n'est pas si mal imaginée : quatre étoiles disposées en trapèze

forment la caisse du chariot, qui semble elle-même trainée par trois autres étoiles figurant les chevaux de l'attelage. Prolongez de 5 fois environ la droite joignant les deux étoiles-arrière de la caisse, vous arrivez à un astre plus faible en éclat : c'est l'*Etoile polaire*, celle qui sert de guide au marin et au voyageur. En nous tournant de son côté, nous savons que nous avons le Nord en face, le Sud derrière nous ; à droite, c'est l'Est ou Orient ; à gauche, l'Ouest ou Occident.

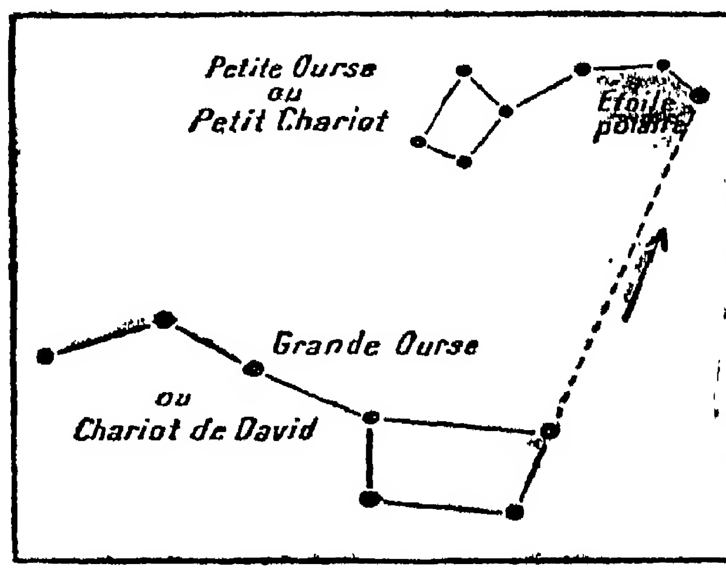


Fig. 1. — Comment, à l'aide de la Grande Ourse, on trouve l'étoile polaire.

Après cette première reconnaissance sur le terrain, tournons le dos à la *Polaire* et, regardant du côté du Sud, pointons notre longue-vue sur une étoile brillante : nous avons le choix, car il n'en manque pas. Vous avez tous entendu dire que chaque étoile est un véritable soleil, réplique plus ou moins volumineuse de l'astre qui éclaire nos jours au cours de l'année, et c'est l'exacte vérité. Comme notre lunette grossit 25 fois ou, si vous voulez, rapproche de 25 fois les objets — ce qui revient au même — vous pensez qu'en mettant votre œil à l'oculaire, vous allez

contempler une étoile tellement grossie qu'elle vous apparaîtra comme un disque lumineux. Eh bien, faites l'expérience et vous serez déçu. L'étoile, en fait, paraît plus brillante qu'à l'œil nu, mais hélas ! ce n'est encore qu'un simple point. Même si vous l'observiez dans le plus fort télescope du monde, que possèdent les Américains, n'importe quelle étoile vous apparaîtrait toujours sous cette même forme d'un point lumineux.

Et ceci vous prouve, soit dit en passant, l'éloignement immense de toutes les étoiles. Qu'on les rapproche de 1 000, de 6 000 fois ou davantage, elles sont si loin, si loin que cela ne nous avance pas du tout.

Mais une autre surprise vous attend. Que se passe-t-il donc d'insolite ? A peine quelques secondes se sont-elles écoulées que déjà l'étoile n'est plus dans le champ de la lunette. Elle semble avoir disparu comme par enchantement. Quelqu'un aurait-il par mégarde déplacé le support de la longue-vue ? — Point, et pour vous en assurer, braquez encore votre instrument sur une autre étoile ; mais, cette fois, observez attentivement. Que constatez-vous ? L'image de l'astre visé ne reste même pas une seconde au milieu du champ qu'embrasse la lunette ; elle est animée d'un mouvement qui la fait filer sur votre droite, qui l'emporte et la fait disparaître à vos yeux. Renouvelez cent fois, mille fois l'expérience sur une étoile quelconque située du côté du Sud et toujours vous en arriverez à la même constatation.

2. Le mouvement diurne.

Ainsi, toutes les étoiles sont emportées par ce même mouvement que l'on peut facilement constater chaque nuit, même à l'œil nu. Observez le ciel du côté de l'Est, vous verrez peu à peu de nouvelles étoiles se lever à l'horizon, monter lentement, décrire

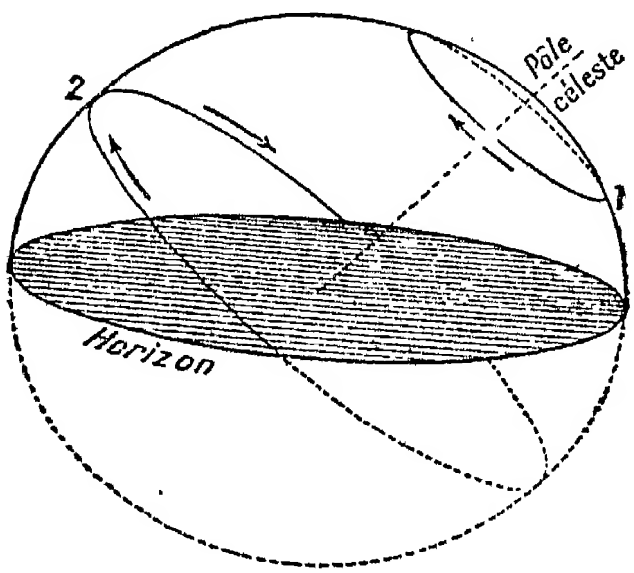


Fig. 2. — Montrant que les étoiles tournent obliquement par rapport à l'horizon.

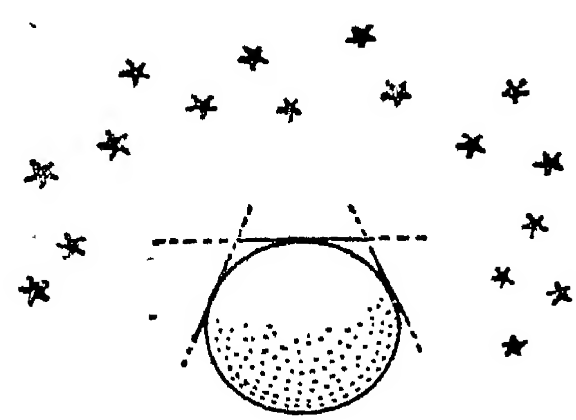


Fig. 2 *bis*. — Les aspects du ciel varient suivant l'horizon de l'observateur.

des courbes plus ou moins grandes, puis disparaître finalement à l'Ouest. C'est le même phénomène que vous constatez pour le Soleil et la Lune qui se lèvent à l'Est (à l'Orient qui veut dire *Levant*) et qui se couchent à l'Ouest (ou Occident qui signifie *Couchant*) (V. fig. 2).

Si maintenant vous regardez le Ciel du côté du Nord, vous vous apercevez bien du même mouvement, mais vous verrez que beaucoup d'étoiles se contentent de tourner autour de la *Polaire*, sans

se coucher ni se lever, pour la bonne raison qu'elles ne touchent jamais l'horizon au cours de l'année.

Dans nos régions, toutes les étoiles décrivent dans le Ciel des courbes *obliques*, penchées par rapport à la verticale. Cela tient à la disposition de l'horizon. Si vous alliez à l'un des pôles de la Terre, vous verriez toutes les étoiles tourner en rond autour de

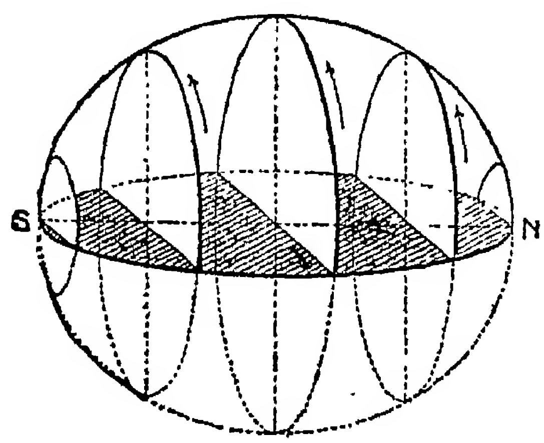


Fig. 3. — Trajectoires des étoiles à l'équateur : la sphère céleste est *droite*.

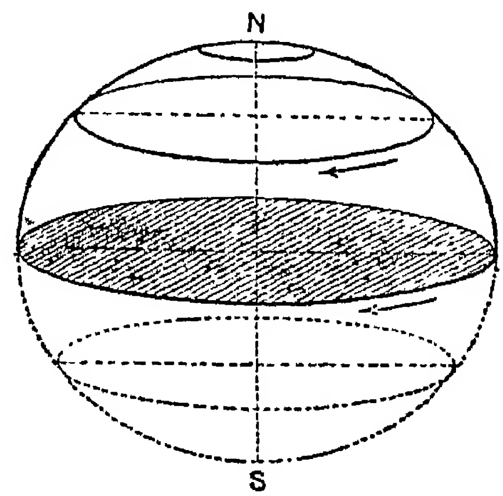


Fig. 4. — Trajectoires des étoiles aux pôles : la sphère céleste est dite *parallèle*.

la Polaire, et cela indéfiniment pendant les longues nuits hivernales. Là-bas, il n'y a ni lever ni coucher pour les étoiles qu'on y observe. On dit alors que la sphére céleste est *parallèle* (fig. 4).

A l'équateur, par contre, les trajectoires des astres s'élèvent dans le ciel perpendiculairement à l'horizon ; la sphère est *droite* (fig. 3).

Mais revenons à nos expériences. Regardant toujours le Sud, prenez votre montre en main, et visant une étoile quelconque, vous vous apercevrez bientôt

que son mouvement est exactement de même sens que celui des aiguilles de votre montre. Il s'effectue de votre gauche vers votre droite. Par convention, les astronomes appellent ce mouvement *rétrograde.* C'est lui qui fait lever les astres à l'Est et les emporte vers l'Ouest, à leur coucher. On appelle mouvement *direct* celui qui s'effectuerait de droite à gauche. La sphère céleste est tout entière animée d'un mouvement rétrograde.

Autre constatation aussi importante : si vous laissiez votre lunette en place après avoir visé une étoile, vous pourriez constater que le lendemain et les jours suivants l'étoile visée revient au milieu du champ de votre lunette dans le *même intervalle de temps.* Cet intervalle, qui est le même pour chaque étoile, a été dénommé *jour sidéral* par les astronomes, qui l'ont divisé en 24 heures, les heures en minutes et secondes, comme nous le faisons pour le temps marqué par nos horloges. Seulement, il faut remarquer que le jour sidéral est un peu plus court (de 4 minutes environ) que notre jour solaire, celui dont nous nous servons couramment. Plus tard, nous reviendrons sur ce sujet et nous verrons la raison de cette petite différence.

Ainsi, les étoiles semblent toutes tourner dans le Ciel en 24 heures sidérales et ce *mouvement diurne* est le plus régulier de tous ceux que nous connaissons.

Il y a plus, au cours de leurs randonnées, les étoiles

conservent les mêmes distances vis-à-vis de leurs voisines et de toutes les autres étoiles. En somme, tout se passe comme si la sphère céleste tournait d'un seul bloc, en d'autres termes, comme si les étoiles étaient fixées une fois pour toutes à la surface de la sphère céleste, telle une boule sur laquelle on aurait piqué des milliers de clous.

J'ai dit que toutes les étoiles tournent autour de l'étoile polaire ; ce n'est pas tout à fait exact. La *Polaire* elle-même tourne autour d'un point assez rapproché d'elle et qu'on nomme le *pôle nord* de la sphère céleste. Voulez-vous en déterminer l'emplacement exact ? Rien de plus facile. Par une belle nuit d'hiver, dirigez un appareil photographique vers la région où brille la Polaire et laissez votre plaque poser toute la nuit. Lorsque vous développerez votre cliché, les étoiles y seront inscrites sous la forme de trainées plus ou moins accusées, toutes circulaires et concentriques. Si vous avez posé 8 heures, par exemple, soit le tiers de 24 heures, vos trainées seront inscrites sous forme de tiers de cercle disposés en couronne. Le milieu de cette couronne vous donnera l'endroit exact du pôle céleste.

Il va sans dire qu'à l'opposé de ce *pôle nord*, par conséquent sous votre horizon et aux antipodes, nous trouverions aussi facilement le *pôle sud* du ciel. Tirez une droite imaginaire qui relie ces deux pôles et vous aurez ce que les astronomes appellent l'*axe du monde*, axe fictif autour duquel s'effectue

le mouvement de la sphère céleste, c'est-à-dire de toutes les étoiles en 24 heures sidérales (fig. 5).

Si vous possédez une bonne horloge, vous pouvez la régler en observant une même étoile tous les soirs, dans votre longue-vue que vous ne déplacerez pas, et vous aurez une *pendule sidérale*, appareil qui sert aux astronomes pour marquer ce qu'ils appellent le *temps sidéral*, temps dont ils usent pour repérer les étoiles et pour les pointer instantanément dans leurs lunettes.

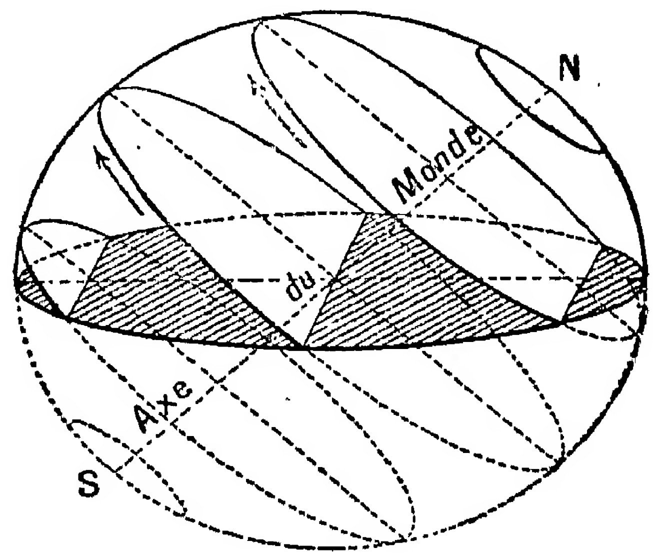


Fig. 5. — Dans nos régions, l'axe du monde, prolongement de l'axe de la Terre, est penché par rapport à l'horizon.

Faisons maintenant une toute petite digression sur ce fameux temps sidéral dont je viens de parler. C'est un sujet fort important, mais que les ouvrages de vulgarisation négligent le plus souvent de faire comprendre à leurs lecteurs.

Supposez deux horloges, l'une pour le temps sidéral, l'autre pour nous donner l'heure officielle, celle que la T. S. F. distribue par radio. Supposons encore que, un jour donné, nos deux horloges marquent minuit ou zéro heure à la même seconde, le départ des deux instruments ayant lieu au moment où une

certaine étoile passe dans le champ de notre longue-vue. Le lendemain, l'horloge, ou pendule sidérale, si elle est bien réglée, devra marquer de nouveau zéro heure au passage de l'étoile visée. Entre ces deux passages, il se sera écoulé 24 heures sidérales.

Eh bien, la seconde horloge, celle qui donne l'heure civile, communiquée par la T. S. F., ne marquera pas encore minuit ou zéro heure. Pour enregistrer le top qui indiquera minuit, il vous faudra attendre 3 minutes 56 secondes.

Le jour sidéral, je l'ai déjà fait remarquer (n° 2), est donc plus court que le jour solaire, celui dont nous nous servons dans la vie civile. Or, comme ce jour sidéral, nous le verrons bientôt, n'est autre que la mesure du temps que la Terre met à tourner sur elle-même, il faut donc, lorsqu'on parle de la rotation de la Terre, spécifier que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures sidérales et non en 24 heures de temps civil.

Les jours que marquent nos montres ou nos horloges publiques contiennent 24 heures, chaque heure 60 minutes et chaque minute 60 secondes, soit au total 86 400 secondes de temps civil — les astronomes disent de *temps moyen*. — Le jour sidéral étant plus court que le jour civil de 3 minutes et 56 secondes, soit 236 secondes, il vaut donc :

86 400 secondes — 236 sec. = 86 164 secondes de temps moyen.

Ainsi, le mouvement de la sphère céleste, apprécié

en temps moyen ou civil, s'effectue en 86 164 secondes et c'est juste le temps que la Terre met à faire un tour entier sur elle-même. Nous aurons, d'ici peu, l'occasion de nous servir de ces 86 164 secondes. En attendant, continuons nos déductions.

Puisque nous voyons se lever et se coucher les étoiles dans une grande partie du Ciel, et que les habitants des régions équatoriales constatent ce phénomène pour toutes les étoiles, que ces mêmes astres reviennent les nuits suivantes, il est de toute évidence que, dans l'intervalle qui sépare leur coucher du lever qui suit, le lendemain matin, ces étoiles ont passé *au dessous* de la terre que nous foulons aux pieds.

Cette simple considération nous apprend que la Terre doit être forcément isolée dans l'espace, et cette remarque n'avait pas du tout échappé à certains savants d'autrefois qui observaient comme nous les mouvements de la voûte céleste.

Aujourd'hui, personne ne doute plus de cette proposition et, après tous les voyages effectués autour du Globe, tout le monde sait fort bien que la Terre est ronde : c'est une boule « suspendue dans le vide ». Le mot est de SAINT AUGUSTIN qui vivait il y a seize siècles. Il n'existe donc ni haut ni bas dans l'espace. Le *bas* pour un habitant de la Terre, c'est la direction de sa verticale, c'est-à-dire du fil à plomb du côté du *centre* de notre globe terrestre, endroit où tous les corps sont attirés. Il est donc du dernier gro-

tesque de prétendre que les hommes vivant aux antipodes marchent la tête en bas : leurs pieds reposant sur le sol, ils ont bel et bien la tête en haut, comme nous, mais il est exact de dire qu'ils occupent sur la Terre, une position symétrique de la nôtre, par rapport au centre.

3. Est-ce le ciel ou nous qui tournons ?

Maintenant un dilemme se pose avec la question : « D'où provient le mouvement de la sphère céleste, mouvement que tout le monde est à même de constater ? ».

A ce sujet, il n'existe que deux réponses possibles :

Ou bien c'est le ciel tout entier, c'est-à-dire toutes les étoiles qui tournent en 24 heures sidérales autour de la Terre.

Ou bien c'est tout simplement la Terre elle-même qui, tournant sur son axe, comme une toupie, nous donne l'illusion du mouvement de la sphère céleste.

Notez que, dans l'un ou l'autre cas, les apparences seront les mêmes, Rappelez-vous vos impressions lorsque, dans une gare de chemin de fer, votre convoi se trouve entre deux autres. Si l'un des trois se met en marche, sans secousses, il vous est impossible d'affirmer si c'est vous qui partez ou si c'est l'un des deux autres qui avance ou recule. Ici, les points de repère fixes nous font défaut pour asseoir un jugement.

Examinons donc les deux hypothèses énoncées plus haut.

Si nous devons choisir la première, il est déjà invraisemblable d'imaginer que toutes les étoiles, malgré leurs distances différentes, s'entendent, pour ainsi dire, de telle sorte que toutes soient animées du même mouvement angulaire.

Il est encore plus invraisemblable et plus contraire à toutes les lois de la Mécanique d'admettre que le Soleil et les étoiles, qui sont des masses des milliers de fois plus considérables que notre tout petit globe terrestre, soient astreintes à tourner autour de lui. Il ne serait pas plus grotesque, disait X. DE MAISTRE, de faire tourner le foyer d'une cuisine, la cheminée et même toute une maison autour d'un poulet à la broche.

Mais il y a mieux : nous connaissons maintenant par des procédés géométriques — que nous étudierons dans les prochaines Leçons — les distances du Soleil et d'un grand nombre d'étoiles. Ces données sont tout à fait indépendantes d'un mouvement éventuel de la Terre. Calculons donc la vitesse dont le Soleil et les étoiles doivent être animées si, en réalité, ce sont ces corps célestes qui tournent autour de nous.

Commençons par le Soleil. Nous verrons bientôt que l'astre du jour est à peu près à 150 millions de kilomètres de la Terre. S'il tourne vraiment autour d'elle, il décrit une circonférence égale à 2 fois 150 millions de kilomètres, multipliés par 3,1416. Nous voyons alors que cette circonférence a pour valeur 942 millions de kilomètres, en chiffres ronds. Et cet

immense trajet devrait être accompli en 24 heures sidérales, soit en 86 164 secondes de temps moyen. Une simple division nous apprend qu'en ce cas, notre Soleil doit abattre 10 930 kilomètres à la seconde !

Ce chiffre semble déjà effrayant ; ce sera bien autre chose si nous faisons un calcul analogue pour les étoiles.

Prenons, pour commencer, l'étoile la plus proche, une étoile de la constellation du Centaure, qui gravite à 40 trillions de kilomètres (40,6 exactement).

Calculez la circonférence qu'elle devrait décrire en un jour sidéral et divisez le nombre ainsi obtenu par 86 164, vous trouverez que sa vitesse *par seconde* devrait être de près de 3 milliards de kilomètres. Pour Altaïr, la belle étoile de l'Aigle, qui se trouve à la distance de 148 trillions de kilomètres, nous arrivons à une vitesse de plus de 10 milliards de kilomètres ; 38 milliards pour Aldébaran du Taureau, qui est à 540 trillions de kilomètres de notre humble séjour terrestre.

Tous ces nombres exorbitants, invraisemblables, montrent que l'hypothèse du mouvement de toutes les étoiles autour de la Terre, mouvement qui devrait s'accomplir en un jour seulement, est insoutenable, absurde, insensée. Ceux qui l'admettaient jadis pouvaient avoir quelque excuse. Même au commencement du XVII^e^ siècle, personne ne pouvait se faire

une idée exacte de la distance des étoiles ; celle du Soleil lui-même était fort mal appréciée.

Il est donc beaucoup plus simple de penser que la véritable explication de ces apparences réside tout bonnement dans le fait que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures sidérales. Dans cette seconde hypothèse, calculons la vitesse d'un point situé sur l'équateur.

On vous a sans doute appris à l'école que la circonférence équatoriale du globe terrestre mesurait 40 000 kilomètres. Ce nombre n'est pas tout à fait exact. En raison de l'aplatissement de la Terre, notre équateur mesure 40 076 kilomètres. Divisons 40 076 par 86 164 sec., nous trouvons 465 mètres.

Voilà la vitesse dont un objet placé à l'équateur serait animé du fait de notre rotation. Ces 465 mètres vous paraissent peut-être énormes, mais vous avouerez que cela ne confine pas à l'invraisemblance et que ce n'est rien comparé aux vitesses trouvées précédemment.

Vous me rétorquerez qu'il n'y a là, au demeurant, aucune preuve du mouvement de la Terre ; je suis d'accord avec vous sur ce point ; ce ne sont, comme disent les philosophes, que des preuves de convenance, mais les astronomes ont mieux à vous offrir et si vous avez un peu de patience, vous ne perdrez pas pour attendre. D'ici peu, je serai à même de vous fournir de vraies preuves, des preuves expérimentales de la rotation de notre globe terrestre.

4. Etoiles et planètes.

Les heures passent vite à la contemplation du ciel et une soirée est bien courte pour répondre à toutes les questions qui vous brûlent les lèvres. Bien que je ne veuille pas outre mesure allonger cette première Leçon, il me semble que vous seriez fort aise de savoir le nom de cet astre très brillant qui s'est levé à l'Est pendant que nous discourions sur le jour sidéral, sur les horloges et sur le mouvement possible de la Terre.

Pour terminer, dirigeons donc notre longue-vue sur cet astre qui vous intrigue quelque peu. Vite, l'œil à l'oculaire et aussitôt je vous entends vous écrier : « Voilà une étoile qui ne ressemble pas aux autres ».

Et vous avez raison : au lieu d'un simple point, c'est un disque lumineux que vous apercevez. Cet objet céleste ferait-il exception ? — Pas du tout. Ce que vous contemplez en ce moment dans le champ de la longue-vue, ce n'est pas une étoile, c'est une *planète* qui a nom *Jupiter*, et peut-être vous étonnerai-je en vous disant que, malgré son éclat supérieur à celui de la plupart des étoiles, c'est un astre obscur qui ne brille que d'une lumière empruntée. C'est tout simplement le Soleil qui l'éclaire, comme il éclaire la Lune et d'autres planètes dont vous connaissez au moins les noms : Vénus, Mars, Saturne, etc.

Toutes les planètes que je viens de nommer présentent un disque lumineux lorsqu'on les regarde

dans une lunette. Pourquoi ? Parce qu'elles sont beaucoup plus près de nous que les étoiles. Elles font partie en effet de la famille du Soleil. Comme la Terre — qui est une planète, d'ailleurs — elles tournent autour de l'astre du jour dans la même région du ciel.

Mais d'où leur vient ce nom de *planète* ? Je vais vous le dire.

Nous avons vu que toutes les vraies étoiles semblent tourner d'un bloc, emportées par le mouvement apparent de la sphère céleste. Et la preuve, c'est que nos groupements d'étoiles, nos *constellations* pour mieux dire, étaient connues des milliers d'années avant notre ère. Au temps des Chaldéens et des premiers Pharaons, on observait déjà la Grande Ourse, Orion, le Taureau, les Pléïades. La Bible et HOMÈRE les mentionnent et depuis ces temps reculés, il y a eu très peu de changements dans le ciel, surtout si on l'observe à l'œil nu.

Les positions respectives des étoiles restant les mêmes, les anciens avaient donné à ces astres le nom de *fixes* (fixes sur la sphère céleste).

Maintenant, si vous observiez une planète quelconque, nuit par nuit, vous ne tarderiez pas à vous apercevoir que contrairement aux étoiles fixes, des astres comme Jupiter, Vénus, Mars, etc., se déplacent dans le ciel par rapport aux vraies étoiles. Nous les trouvons tantôt dans une constellation, tantôt dans une autre, et cette particularité n'avait pas échappé

aux anciens observateurs qui, pour cette raison, les appelaient *planètes*, d'un mot grec qui veut dire *errantes*.

La plupart des planètes sont faciles à reconnaître, même à l'œil nu. On les trouve d'abord dans une zone du ciel toujours la même et qu'on appelle le *Zodiaque* (1). De plus, leur lumière ne scintille pas comme celle des étoiles. Cela provient de ce que cette lumière est un faisceau de rayons émanés d'une surface, d'un disque éclairé, assez proche de nous.

5. Simple coup d'œil sur l'Univers.

Au temps de COPERNIC, c'est-à-dire à la fin du XVe siècle, on connaissait 5 planètes seulement : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.

Jamais ces astres, on l'avait fort bien remarqué, ne se montraient au même endroit du ciel. Sans doute les planètes, chaque nuit, semblent bien tourner, emportées par le mouvement de la sphère céleste, mais comme le Soleil et la Lune, elles manifestent un mouvement propre à tendance générale vers l'Est, donc *direct*.

CLAUDE PTOLÉMÉE, au IIe siècle, avait bien deviné que les planètes tournaient autour du Soleil, mais comme il supposait la Terre immobile, son système était impuissant à rendre compte de toutes les apparences.

(1) *Zodiaque* vient du grec *zoone* (animal), parce que les constellations qu'il renferme ont presque toutes des noms d'animaux.

Ce fut un chanoine de Thorn (1), NICOLAS COPERNIC, qui donna l'explication du mystère, après trente-six années de labeur (1543).

Une grosse orange représentant le Soleil, des boules plus petites et du plomb de chasse pour figurer les planètes, le tout posé sur un grand billard, telle est l'image du Système solaire, au milieu duquel nous

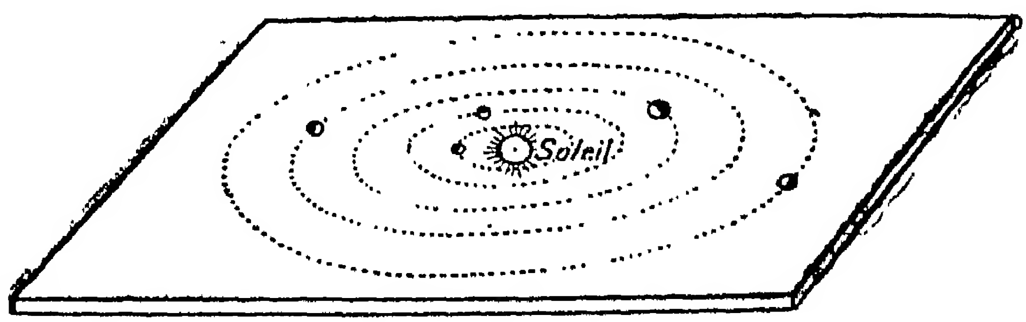


Fig. 6. — Les planètes de notre Système tournent autour du Soleil à peu près dans un même plan.

sommes plongés (fig. 6). Les planètes, dont la Terre fait partie, tournent toutes autour du Soleil. Voilà le système de COPERNIC.

Revenons à notre comparaison : un spectateur placé au dessus du billard se rendrait parfaitement compte du mouvement circulaire de tous ces corps évoluant autour de l'orange. Mais s'il était cantonné sur une de ces petites sphères, très près de l'orange, les apparences changeraient : toutes les billes accessibles à sa vue circuleraient sur une même bande étroite (le Zodiaque) faisant le tour de l'horizon représenté par le plan du billard.

(1) Thorn était à l'époque en Prusse polonaise.

Voulez-vous un autre exemple ? Installez-vous au sommet de la tour Eiffel, à 300 mètres du sol, et priez plusieurs aviateurs de tourner en rond et à des distances différentes, en conservant toutefois cette même hauteur de 300 mètres. Pour les suivre à la lunette ou les retrouver dans le ciel, vous n'irez pas regarder au-dessus de votre tête : il vous suffira de pirouetter sur vous-même en maintenant votre lunette bien horizontale.

Vos aviateurs paraîtront donc se mouvoir dans une même bande et dans un même plan coupant le ciel bien horizontalement à 300 mètres du sol.

Vous comprenez maintenant pourquoi les planètes nous apparaissent-elles aussi sur une même bande du ciel, mais comme l'axe du globe terrestre est penché par rapport à la route que nous suivons, et que les routes des autres planètes sont également contenues à peu près dans ce même plan, il est bien évident que ces astres paraîtront se mouvoir dans un plan incliné — pour nos régions du moins — sur la sphère céleste et que les astronomes appellent *écliptique* (1). Tout cela est facile à comprendre si vous vous reportez aux figures 6 et 7.

Le Soleil et ses planètes forment ce que l'on appelle le *Système solaire*, mais pour être précis, faut il encore ajouter que, dans ce même Système solaire, il existe d'autres corps plus petits dont nous parlerons plus tard en détail.

(1) Nous verrons plus tard pourquoi ce nom d'*écliptique*.

Autour des planètes, en effet, circulent souvent de petites sphères qu'on nomme *satellites*. Un exemple que vous connaissez tous, nous en est donné par la Lune qui tourne autour de la Terre : la Lune est donc notre satellite.

Braquez de nouveau la longue-vue sur Jupiter,

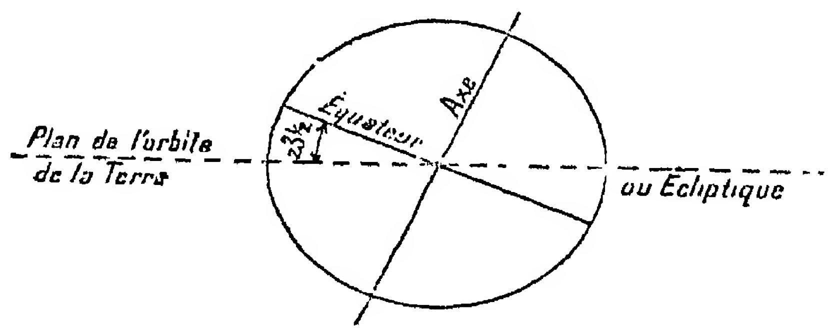


Fig. 7. — La Terre tourne inclinée sur le *plan* de sa trajectoire autour du Soleil, qui marque l'*écliptique*.

vous allez apercevoir les 4 principales lunes qui circulent autour de la planète géante et qui sont ses satellites.

A côté de ces corps, tous plus ou moins volumineux, il existe des comètes qui décrivent autour du Soleil des trajectoires très allongées sur des ellipses plus ou moins aplaties et qui ne se font pas faute de circuler sur des plans ne coïncidant pas du tout avec celui du billard, ce plan que nous avons appelé *écliptique*.

Mais le Système solaire n'est pas unique dans l'Univers. Les étoiles sont autant de soleils comme le nôtre et ces soleils peuvent, eux aussi, posséder leurs planètes et leurs comètes. Il doit y en avoir

des milliards qui sont dans ce cas, mais les étoiles sont si éloignées qu'aucun télescope n'a jamais pu nous montrer ces planètes lointaines, rivées à ces soleils qui peuplent l'immensité de l'espace.

Vous voyez par là, que l'astronome a beaucoup à faire. Nous le suivrons de loin en étudiant d'abord notre propre Système solaire, puis en essayant de nous faire une idée de la façon dont sont distribuées les étoiles dans l'Univers grandiose où le Créateur nous a déposés.

DEUXIÈME LEÇON

PREMIÈRE ÉTUDE DE LA TERRE

Nous avons vu que la Terre était isolée dans l'espace, et tout nous fait supposer qu'elle est ronde, comme toutes les planètes, comme le Soleil qui est d'une rondeur parfaite, comme la Lune enfin, dont la sphéricité ne fait de doute même pour les plus ignorants.

Dès lors que Mars et Jupiter tournent sur eux-mêmes autour d'un axe idéal, il est très rationnel de supposer que la Terre tourne sur elle-même autour d'un axe qui perce le globe terrestre en deux points qu'on nomme les *pôles*. Dans ce cas, l'axe du monde ne serait que le prolongement de l'axe terrestre et les apparences s'expliqueraient facilement.

En est-il ainsi ! Voilà ce que vous désirez savoir. COPERNIC, et bien d'autres avant lui, avaient admis le mouvement de rotation de la Terre, mais ils ne l'avaient pas prouvé d'une manière absolue. Pas davantage GALILÉE qu'on a fait faussement le promoteur de la thèse. Le célèbre physicien affirmait bien que la Terre tournait, mais il en donnait

surtout comme preuves des interprétations fantaisistes des Ecritures et c'est ce qui amena sa condamnation par un tribunal écclésiastique. Tout en se trompant lui-même sur le fond, ce tribunal semblait dire à GALILÉE qu'il se mêlait de choses qui ne le regardaient pas. Et la preuve, c'est que COPERNIC, qui avait cependant soutenu la même hypothèse, près d'un siècle auparavant, n'avait pas été inquiété.

Il a fallu attendre jusqu'au milieu du XIX^e siècle pour posséder enfin une vraie preuve de la rotation de notre planète.

6. C'est bien la Terre qui tourne.

Lorsqu'on fait osciller une lourde sphère à l'extrémité d'un long fil, réalisant ainsi ce que l'on appelle un *pendule*, la Mécanique démontre que ce pendule ne peut changer son plan d'oscillation ; celui-ci *conserve sa direction* dans l'espace.

L'expérience réussit même avec un petit pendule attaché à une potence qu'on peut faire tourner lentement.

Transportons un pendule dans les régions polaires et lançons-le dans la direction d'une étoile proche de l'horizon, puis repérons en même temps son plan d'oscillation au moyen d'un jalon planté en terre.

Nous savons que ce plan d'oscillation est *invariable*. Or, comme nous constatons chaque jour un mouvement d'ensemble des étoiles, de deux choses l'une :

Ou bien ce plan d'oscillation coïncidera avec la direction de notre jalon terrestre pendant toute la durée de l'expérience, et alors l'étoile et la voûte céleste tourneront réellement.

Ou bien notre pendule accompagnera l'étoile et s'éloignera de plus en plus de la direction du jalon fixé au sol et prouvera ainsi le mouvement de la Terre.

Eh bien, en fait, le pendule *suit* l'étoile, la Terre tourne donc au-dessous de lui (fig. 8).

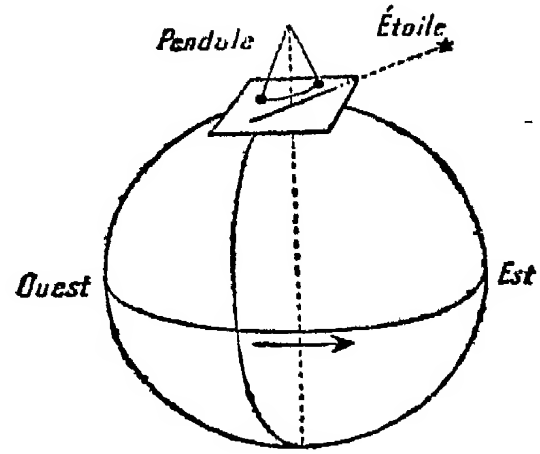


Fig. 8. — Principe de l'expérience de Foucault, démontrant que la Terre tourne de l'Ouest à l'Est.

Evidemment, l'expérience ne peut se faire tous les jours aux pôles, mais elle a été réalisée pour la première fois en public au Panthéon, à Paris, par le physicien FOUCAULT ; c'était en mai 1851 (1).

Le pendule consistait en une sphère métallique de 28 kilogrammes, suspendue à un fil de 67 mètres de longueur.

Le jour de l'expérience, toutes les personnes présentes purent constater que le sol du Panthéon,

(1) FOUCAULT avait réalisé sa première expérience, après bien des essais, le 8 janvier 1851, à 2 heures du matin, dans une cave de la maison qu'habitait sa mère, rue d'Assas. Cette expérience fut ensuite répétée à l'Observatoire de Paris, avant celle du Panthéon, qui fut publique.

ainsi que les murs de la salle se déplaçaient par rapport au plan d'oscillation du pendule qui mettait 16 secondes pour revenir à son point de départ. En somme, la Terre tournait *au-dessous* du pendule, seulement la rotation mettait plus de temps à s'effectuer que dans les régions polaires en raison de la latitude de Paris, et le calcul a montré que si l'expérience avait pu être réalisée au pôle, le plan d'oscillation aurait paru se déplacer en 24 heures sidérales exactement.

On peut donc maintenant affirmer que le mouvement de la sphère céleste n'est que pure apparence. En réalité, c'est bien nous qui tournons, emportés par la rotation de la Terre.

Le mouvement apparent ayant lieu de l'Est à l'Ouest dans le ciel, la Terre est animée d'un mouvement réel, inverse du premier, c'est-à-dire s'effectuant de l'Ouest à l'Est, donc *direct.*

A cette première preuve sont venues s'en ajouter quelques autres que nous aurons sans doute l'occasion de mentionner peu à peu.

7. Comment on a mesuré la Terre.

Il y a beau temps que les anciens astronomes ont essayé de mesurer la Terre, mais il leur était bien difficile d'obtenir des précisions à ce sujet ; la technique instrumentale leur faisait vraiment trop défaut.

Pour bien comprendre comment peut se faire une

opération aussi délicate, il faut rappeler ici quelques notions indispensables.

Afin de repérer un point sur la Terre, les géographes ont tracé sur les globes terrestres une sorte de canevas que vous avez pu remarquer sur les cartes de vos Atlas. Tout d'abord des *méridiens*, grands cercles qui passent par les pôles ; puis un *grand cercle* qui les coupe tous à angle droit et qui est l'*équateur* ; enfin, des cercles *parallèles* à l'équateur et qui deviennent de plus en plus petits à mesure qu'on avance vers les pôles (fig. 9).

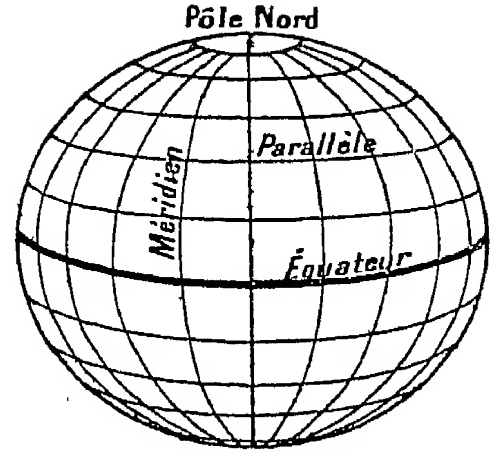


Fig. 9. — Canevas imaginé pour déterminer la position d'un lieu à la surface du globe terrestre.

La circonférence comptant 360 degrés, de l'équateur à l'un ou l'autre pôle, il y a un quart de circonférence, donc 90 degrés.

Le nombre de degrés dont un lieu *est éloigné* de l'équateur s'appelle sa *latitude*. On la compte sur le méridien qui passe par le lieu (fig. 10).

Exemple : Abbeville est distant de 50 degrés de l'équateur ; nous dirons donc que la latitude d'Abbeville est de 50 degrés. Comme Abbeville est dans l'hémisphère nord, sa latitude est *boréale*. Elle serait *australe* si cette ville était située dans l'hémisphère sud.

Mais il n'y a pas qu'Abbeville qui soit sur le 50e parallèle, c'est-à-dire qui soit à 50 degrés de l'équa-

teur. Il faut donc pouvoir, sur un parallèle donné, distinguer un lieu d'un autre. C'est alors qu'on a de nouveau recours aux méridiens.

On choisit un *méridien origine* : on prend aujourd'hui comme méridien origine celui de Greenwich

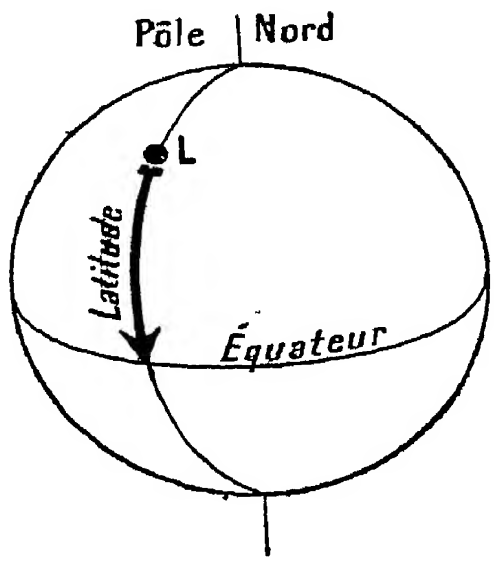


Fig. 10. — La *latitude* d'un lieu est sa distance (en degrés) à l'équateur.

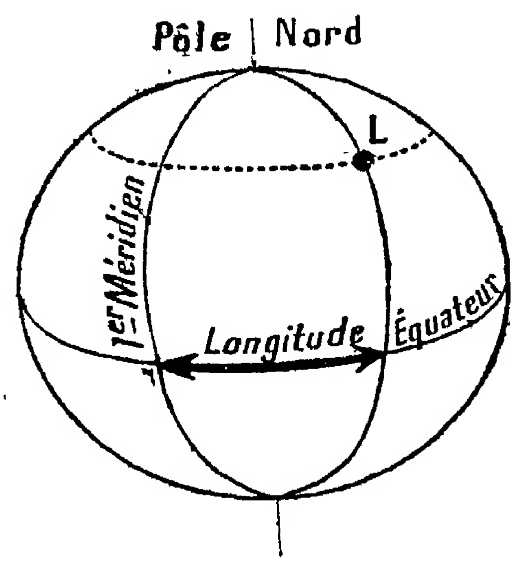


Fig. 11. — La *longitude* d'un lieu est sa distance (en degrés) à un 1er méridien,

(observatoire près de Londres) ; on fait passer un méridien par Abbeville, pour continuer notre exemple, et l'on compte sur l'équateur le nombre de degrés qui séparent le méridien d'Abbeville du méridien origine (fig. 11). Nous constatons alors que les deux méridiens sont à 2 degrés environ l'un de l'autre. Je dirai alors que la *longitude* d'Abbeville est de 2 degrés (1). Les degrés de longitude sont comptés

(1) Nos cartes d'Etat-major donnent encore les longitudes comptées à partir du méridien de Paris, pris comme origine, mais sur les cartes qu'on dressera à l'avenir, tout sera rapporté au méridien de Greenwich.

de 0 à 180°, dans le sens Est ou dans le sens Ouest. La longitude d'Abbeville est de 2 degrés Est, ou *orientale*. Si Abbeville était à l'Ouest de Greenwich, sa longitude serait occidentale.

Maintenant, revenons à la mesure de la Terre. Il n'est venu à l'esprit d'aucun géomètre de parcourir tout un méridien pour connaître les dimensions du globe terrestre. Aussi, de bonne heure eut-on l'idée de mesurer seulement un arc de *un* degré sur un méridien quelconque.

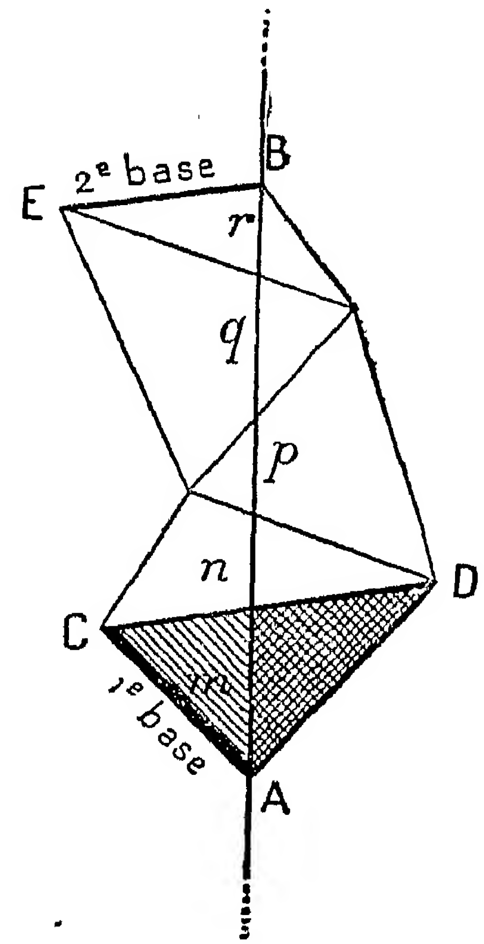


Fig. 12. — Exemple d'une *triangulation* pour la mesure d'un arc de *un* degré.

Comme la circonférence contient 360 degrés, il devait suffire, pensait-on, de multiplier le résultat trouvé par 360 pour avoir la valeur de tout le méridien, donc les dimensions de la Terre. Ainsi ont dû raisonner les astronomes du XVIIe siècle ; ils étaient loin de penser aux difficultés qui les attendaient.

Pour mesurer un arc sur un méridien, on détermine d'abord un triangle dont on apprécie la base avec une unité de mesure de longueur (fig. 12). On porte à cet effet bout à bout des règles métalliques

graduées en tenant compte de la dilatation due à la température (1). Cette base, une fois mesurée, on prend pour sommet d'un triangle un clocher éloigné, par exemple, et on vise ce clocher des deux extrémités de la base. En appréciant les angles à la base à l'aide d'un graphomètre ou mieux d'un théodolithe, sortes de rapporteurs munis de lunettes, on détermine par un calcul trigonométrique les deux côtés du triangle dont l'un servira de base pour un 2e triangle, etc. Au dernier triangle, on vérifie les calculs en mesurant directement la dernière base, comme on l'a fait pour la première.

C'est là un travail d'autant plus délicat qu'il faut tenir compte des reliefs du terrain et tout ramener au niveau de la mer.

La première opération sérieuse fut réalisée entre Amiens et Malvoisine, près de Melun, par le savant abbé Picard, en 1669. L'Arc de *un degré* fut évalué à 57 060 toises (2). Mais en 1718, après de nouvelles mesures, on s'aperçut que les arcs de *un* degré, suivant les régions, accusaient des valeurs différentes. Des missions furent envoyées pour opérer aussi bien

(1) Ce procédé est extrêmement long et présente des difficultés d'ordre pratique très nombreuses. Depuis 1885, les bases sont mesurées au moyen de fils métalliques de 24 mètres de longueur et soumis à une tension de 10 kgs à chacune de leurs extrémités Les fils sont en *invar* (acier à 36 % de nickel) dont la dilatation est à peu près nulle aux températures ordinaires. On peut ainsi mesurer 1 500 m. par jour avec une erreur d'à peine *un* millimètre, alors qu'autrefois on se trompait, sur un même parcours, de 15 millimètres.

(2) La toise adoptée valait 1 m. 968.

vers l'équateur que vers les pôles et il fallut en conclure que la Terre n'était pas du tout sphérique, mais manifestait un aplatissement aux pôles. Un arc de *un degré* était en effet *plus long* en Laponie qu'au Pérou, et paraissait ainsi appartenir à une sphère d'un plus grand rayon, d'où la conclusion que la Terre était moins courbée, plus plate si vous préférez, aux pôles que vers l'équateur.

Mais ici, vous m'arrêtez et je devine votre question :

« Comment, demanderez-vous, les astronomes de l'époque s'y prenaient-ils pour savoir qu'ils avaient parcouru exactement un degré, le long d'un méridien, c'est-à-dire sur une ligne Nord-Sud ou Sud-Nord ? »

Je vais vous l'expliquer, mais il faudra en la circonstance vous rappeler les éléments de la Géométrie appris autrefois (1).

Nous avons constaté que toutes les étoiles paraissent tourner autour du pôle céleste, qui est situé près de la Polaire et toujours visible dans nos régions. Si, au centre de la France, nous visons le pôle céleste avec notre lunette, nous constaterons que cet instrument fait avec l'horizon (ou avec le plan horizontal) un angle de 47 degrés. Il est donc à peu près à mi-chemin entre l'horizon et le haut

(1) Le lecteur trouvera les principes de Géométrie dont il a besoin dans *Pour comprendre la Géométrie plane*, de cette même *Collection*.

de la voûte céleste, qu'on appelle le *Zénith* (fig. 13).

Si nous portions notre lunette au pôle nord exactement, nous verrions, d'après ce que nous avons dit, le pôle céleste juste au zénith. Cette fois, pour viser ce point, il faudrait dresser la lunette verticalement. L'inclinaison, qui était de 47 degrés en France, serait maintenant de 90 degrés, c'est-à-dire serait nulle, puisque 90° = 1 angle droit. Les astronomes abrègent ce langage et disent simplement : Au centre de la France, la *hauteur du pôle* (sous-entendu *au-dessus de l'horizon*) est de 47 degrés ; elle est de 50° à Abbeville, de 59° à Stockholm, de 72° au cap Nord, etc...

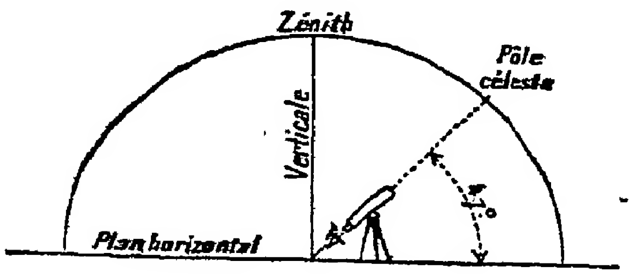


Fig. 13. — Comment on mesure la *hauteur* du pôle en un lieu.

Vous le voyez, la hauteur du pôle augmente à mesure que nous avancons vers le pôle, où elle atteint son maximum, soit 90 degrés. Maintenant, si vous consultiez votre Atlas, vous ne tarderiez pas à vous apercevoir que les nombres précédents, qui expriment la hauteur du pôle en chaque lieu cité, ne sont autres que les valeurs de la latitude de ces mêmes endroits.

Donc la hauteur du pôle en un lieu est égale à la latitude de ce même lieu.

Et je vais vous le prouver par la Géométrie. Nous avons vu que la latitude d'un lieu est le nombre de

degrés qui le séparent de l'équateur. Regardez attentivement la figure 14, vous constaterez qu'on peut donner une autre définition de la latitude. C'est l'*angle que forme une verticale* (direction du fil à plomb) *avec l'équateur.*

Cherchons à l'aide de la figure suivante (fig. 15) la

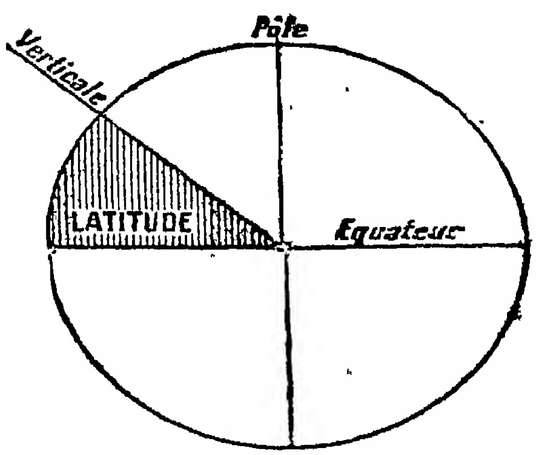


Fig. 14. — La latitude est l'angle que forme la verticale avec l'équateur.

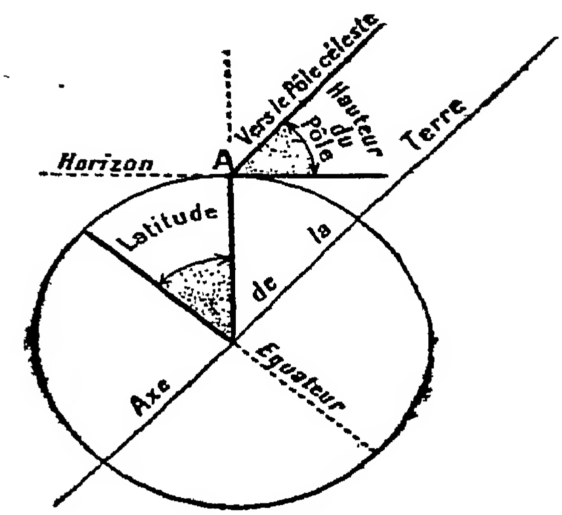


Fig. 15. — La latitude d'un lieu égale toujours la hauteur du pôle céleste.

hauteur du pôle dans le lieu A, dont la latitude est, je suppose, de 45°. Je trace l'horizontale perpendiculaire à la verticale. De ce point A, je mène une droite dans la direction du pôle céleste. Elle est perpendiculaire à l'équateur et donc parallèle à l'axe du monde, qui n'est autre que l'axe de la Terre prolongé. Les deux angles ombrés sont donc égaux, comme ayant leurs côtés perpendiculaires deux à deux.

J'ai dit que la droite menée vers le pôle céleste

était parallèle à l'axe du monde ou de la Terre. Ceci demande une petite explication : on peut regarder comme parallèles toutes les droites qui visent, de la Terre, un même point du ciel ; notre planète est si petite qu'un déplacement à sa surface ne peut influer sur la direction d'un rayon visuel, même celui-ci fût-il dirigé vers une étoile.

Vous concevez mieux maintenant comment les astronomes reconnaissent qu'ils ont parcouru un arc de *un* degré du méridien : c'est tout simplement lorsqu'ils constatent qu'après un certain trajet sur un méridien, en allant au Nord, la hauteur du pôle céleste a augmenté d'un angle de *un* degré (1).

Eh bien, en parcourant un arc de un degré, on s'est aperçu non seulement que la Terre est aplatie, mais qu'aucun méridien ne se ressemble. L'équateur même n'est pas rond ; on y constate trois bosses assez bien marquées. Bref, le vœu émis par l'Assemblée Constituante en 1790, de trouver dans la mesure de la circonférence de la Terre, « une unité de mesure fondamentale naturelle qui serait invariable et toujours facile à réaliser » est une belle utopie.

Tout d'abord, on s'est aperçu en reprenant les calculs de l'arc de méridien mesuré entre Dunkerque et Barcelone, qu'une erreur s'y était glissée. Notre mètre actuel est *trop court* de 2 dixièmes de millimètre. Et fût-il vraiment la dix-millionième partie

(1) La hauteur du pôle diminue évidemment de *un* degré si l'on se dirige vers le Sud.

du quart du méridien mesuré, ce résultat serait encore factice et illusoire, puisque aucun méridien ne ressemble à son voisin.

Notre mètre *reste donc une unité de longueur conventionnelle.*

Lorsque les savants voudront posséder une unité linéaire invariable, ils n'auront qu'à prendre la dix-millionième partie du rayon polaire de la Terre, élément qui ne variera pas de sitôt, maintenant que la Terre est refroidie (1).

Quoiqu'il en soit, après avoir mesuré des arcs nombreux de méridiens, à peu près dans toute les parties du monde, les géodésiens et les astronomes se sont mis d'accord sur des conclusions qui semblent définitives, au sujet des dimensions de la Terre.

8. Dimensions de la Terre.

Si l'on fait une coupe du Globe suivant l'axe de la Terre, on obtient non une circonférence, mais un cercle aplati que les géomètres appellent une ellipse (2). Le plus grand diamètre de l'ellipse, qui correspond au niveau de l'équateur, mesure 12 756 776

(1) J'ai montré dans mon ouvrage : *La Science mystérieuse des Pharaons* que la coudée sacrée employée dans la construction de la Grande Pyramide d'Egypte équivalait précisément à la dix-millionième partie du rayon polaire de la Terre. Comment les prêtres égyptiens avaient-ils obtenu cette valeur ? Mystère.

(2) Le lecteur fera bien de revoir à ce sujet la Vᵉ Leçon de *Pour comprendre la Géométrie dans l'espace*, où j'ai donné des notions assez étendues sur l'ellipse.

mètres. Le plus petit, qui correspond à l'axe de la Terre mesure 12 713 824 mètres.

Il existe entre les deux une différence de 42 952 mètres. En faisant tourner cette ellipse sur son petit axe, ou axe polaire de la Terre, on obtient la représentation de notre Globe terrestre. C'est, disent les géomètres, un *ellipsoïde de révolution* (1).

Pour mieux retenir les dimensions de la Terre, nous pouvons arrondir les chiffres précédents et nous aurons :

Diamètre équatorial : 12 757 kilomètres.
Diamètre polaire : 12 714 kilomètres.
Différence = 43 kilomètres.

On voit que l'aplatissement du globe terrestre est extrêmement faible (2). Contemplée de loin, de la Lune par exemple, notre Terre paraîtrait parfaitement ronde. Si nous représentions la Terre par un globe de 45 centimètres de diamètre équatorial, la différence entre ses deux diamètres, pour conserver les proportions, serait de 1 millimètre et demi seulement, inappréciable à l'œil. Le relief terrestre lui-même passerait de loin complètement inaperçu, moins accusé que les rides d'une écorce d'orange. Le mont Everest, le plus haut sommet du monde

(1) Le lecteur fera bien de voir à ce sujet la Ve Leçon de *Pour comprendre la Géométrie dans l'espace*, où j'ai donné des notions assez étendue sur l'ellipse.

(2) Pour évaluer l'aplatissement d'une ellipse, les géomètres cherchent le rapport qui existe entre la différence des axes et le grand axe. Pour la Terre, ou trouve que ce rapport égale 1/297. C'est la valeur de son aplatissement (V. fig. 16).

(8 880 m.), ne serait figuré sur notre globe de 45 centimètres, que par une petite aspérité de 3 dixièmes de millimètre à peine.

Pour leurs calculs de distance, les astronomes ont adopté le *rayon équatorial de la Terre*, soit 6 378 kilom., en chiffres ronds.

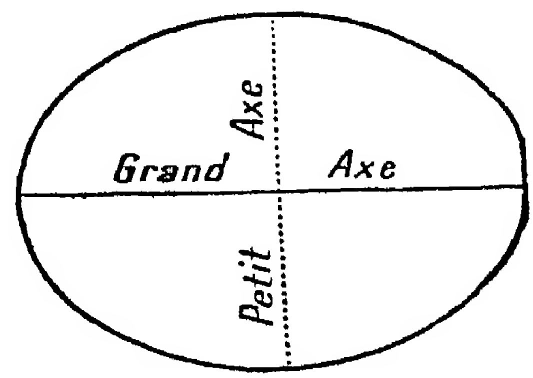


Fig. 16. — Ellipse avec ses deux axes.

On pourrait, d'après les formules indiquées dans la Géométrie, calculer le volume de la Terre en tant qu'ellipsoïde de révolution (1). Je laisse ce soin à mes lecteurs capables de le faire. Contentons-nous ici d'évaluer ce volume, en supposant que la Terre est parfaitement ronde et sachant que le *rayon moyen* du globe terrestre vaut 6 371 kilomètres.

Le volume d'une sphère est égal à sa surface multipliée par le tiers de son rayon.

Cherchons donc en premier lieu la surface de la Terre. Celle-ci est égale, d'après la Géométrie, à la surface de 4 grands cercles.

Un grand cercle = le carré du rayon × 3,14

ou 6 371 × 6 371 × 3,14 = 127 451 472,74

4 grands cercles = 127 451 472,74 × 4 = 509 805 891 kilomètres carrés.

(1) On trouvera dans mon ouvrage : *Pour comprendre la Géométrie dans l'espace*, toutes les formules pour évaluer les surfaces et les volumes de la sphère et des ellipsoïdes de révolution. Voir les IV[e] et V[e] leçons.

Ce dernier nombre est la *surface de la Terre* entière ; pour obtenir le volume il suffit de multiplier ce nombre par le tiers du rayon, soit le tiers de 6 371. L'opération nous donne :

Volume de la Terre : 1 082 milliards de kilomètres cubes.

Le calcul exact, pour un ellipsoïde ayant les dimensions de la Terre, donne 1 083 milliards. Le résultat précédent était donc une bonne approximation.

En raison de l'aplatissement du Globe, un corps est plus attiré aux pôles qu'à l'équateur (1). Sur un peson à ressort, il accuserait un poids plus grand. Pour la même raison, la longueur d'un pendule qui bat la seconde diminue de 5 millimètres lorsqu'on va des pôles à l'équateur, mais le calcul indique que ce chiffre n'est pas tout à fait en rapport avec l'aplatissement. Il y a une cause qui vient s'ajouter au fait de l'aplatissement et cette cause c'est la force centrifuge.

Ce résultat constaté prouverait à lui seul la rotation du globe terrestre. Si cette rotation était 17 fois plus rapide, la Mécanique nous enseigne que la force centrifuge neutraliserait l'attraction et les corps à l'équateur ne pèseraient plus du tout.

C'est d'ailleurs la rotation de la Terre qui a amené l'aplatissement du Globe, qui était fluide au début de sa formation. Faites tourner rapidement une

(1) Parce que les pôles sont plus près du centre de la Terre que l'équateur.

goutte d'huile dans un mélange d'eau et d'alcool ; la petite sphère s'aplatira d'autant plus que sa rotation sera plus rapide : c'est l'expérience de PLATEAU, qu'on réalise dans les Cours de Physique, et que, sans doute, vous connaissez déjà. Voilà une nouvelle preuve de la rotation de la Terre, et il y en a bien d'autres que je suis forcé de passer sous silence, sans quoi ces Leçons ne finiraient plus.

9. La Terre tourne autour du Soleil.

A son mouvement de rotation sur elle-même, la Terre ajoute un mouvement de translation dans l'espace, qui lui fait décrire autour du Soleil *en une année*, une piste à très peu près circulaire. — « Comment, demanderez vous, s'en est-on aperçu ? » — D'une façon assez singulière et qui vaut d'être contée.

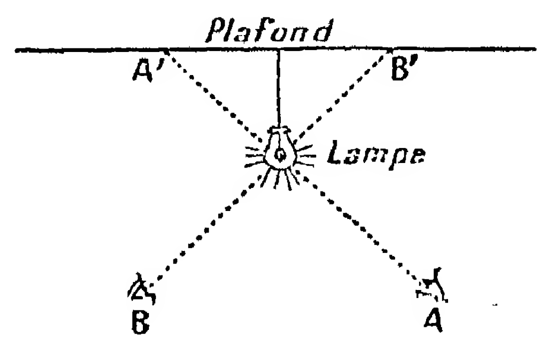


Fig. 17. — Un observateur situé en A, voit la lampe en A' ; situé en B, il la voit se projeter en B'.

Dans une chambre éclairée par une lampe suspendue et séparée de quelques décimètres du plafond, portez vous successivement aux quatre coins de l'appartement, vous verrez la lampe se projeter sur le plafond en des endroits différents et toujours *opposés* à la place que vous occupez par rapport à la lampe (fig. 17).

Si donc la Terre se déplace, nous devons voir les étoiles se projeter de même sur la voûte du ciel en

des points différents ; qu'elle tourne en rond autour du Soleil, nous verrons dès lors chaque étoile exécuter, en apparence, une petite circonférence sur la sphère céleste et toujours occuper un point opposé au Soleil, qui est le centre de notre ronde perpétuelle.

Voilà ce que s'étaient dit maintes fois les premiers astronomes munis de lunettes. Mais ils ne tardèrent pas à constater que les étoiles doivent être extrêmement éloignées, puisque jamais aucun observateur n'était parvenu à déceler la moindre trace de semblable déplacement.

Néanmoins, vers 1725, l'astronome anglais, BRADLEY, conçut à son tour le dessein de voir s'il ne réussirait pas là où avaient échoué ses collègues. Puisque, se disait-il, chaque étoile, théoriquement, doit décrire sur le ciel une circonférence apparente d'autant plus grande que sa distance est plus proche de la Terre, la réussite de l'expérience doit dépendre pour beaucoup du choix de l'astre à observer. C'était raisonner juste, mais après un long et minutieux examen qui dura des années, il découvrit tout autre chose que ce qu'il cherchait. Les étoiles examinées décrivaient bien sur la sphère céleste de petits ronds, comme il s'y attendait, mais tous ces ronds avaient un même rayon de 20 secondes d'arc (1). Cette dernière constatation, tout en plongeant l'astronome dans

(1) Pour être exact, disons que, suivant la position des étoiles observées, ces ronds devenaient des ellipses plus ou moins aplaties, mais dont le grand axe égalait toujours 2 fois 20 secondes.

la plus grande perplexité, lui démontrait que la distance des étoiles n'était pour rien dans l'affaire. Quelle cause pouvait bien intervenir dans un phénomène aussi nouveau qu'insoupçonné ?

Lorsque vous voyagez dans un train par temps de pluie, avez-vous remarqué que les gouttes d'eau décrivent sur les vitres, des trajectoires d'autant plus obliques que la vitesse du train est plus rapide ? Si la Terre tourne réellement autour du Soleil, ne sommes-nous pas dans un cas analogue ? Tout en avançant dans l'espace, nous recevons des rayons de lumière des étoiles ; ces rayons doivent donc paraître déviés de leur direction d'un certain angle. Tel est le raisonnement que se fit BRADLEY. A cette époque, on connaissait déjà très approximativement le taux de la vitesse de la lumière, l'hypothèse pouvait donc être contrôlée. Le problème peut s'énoncer en ces termes : La lumière parcourant 300 000 kilomètres par seconde, quelle vitesse faut-il donner à la Terre pour qu'un rayon émané d'une étoile subisse une déviation apparente de 20 secondes ? Le calcul répond aussitôt : 30 kilomètres ; résultat confirmé par d'autre méthodes susceptibles d'une grande précision (1).

Voulez-vous, avec ce nombre de 30 kilomètres, calculer la distance du Soleil à la Terre. Rien de plus facile. Multipliez par 30 le nombre de secondes con-

(1) La vitesse moyenne de la Terre sur sa trajectoire est de 29 km. 750 très sensiblement.

tenues dans une année, vous obtiendrez ainsi la longueur de la circonférence décrite par la Terre autour du Soleil, et le rayon de cette même circonférence vous fixera sur notre distance à l'astre du jour. Par ce procédé vraiment élémentaire, vous devrez trouver 149 500 000 kilomètres, nombre très approché de la distance exacte que nous déterminerons autrement.

Le phénomène que Bradley n'avait pas cherché et qu'il venait de découvrir s'appelle l'*aberration*. Il est d'une importance capitale, car à lui seul il fournit une preuve évidente et expérimentale du mouvement de la Terre autour du Soleil, mouvement qu'admettaient Copernic, Képler et Galilée, mais qu'ils avaient été impuissants à démontrer. Bradley avait été à cet égard plus favorisé que ses illustres prédécesseurs, mais tout en comprenant que les petits cercles apparents décrits par les étoiles sur le fond du ciel, étaient dus à notre déplacement circulaire autour du Soleil en une année, il ne tenait qu'une demi-explication des faits observés. Alors qu'en effet l'image de l'étoile aurait toujours dû, comme dans l'exemple de la lampe suspendue au plafond, se projeter à l'opposé de notre observatoire terrestre, par rapport au Soleil et au-dessus de la direction de ce dernier, la place qu'elle occupait était toujours de 90 degrés en retard sur celle où l'on aurait dû la voir. Examinez la figure 18 et vous saisirez mieux le nouveau problème posé à Bradley.

Lorsque la Terre est en T, si nous visons l'étoile,

son image doit se projeter en E sur la voûte céleste. Quand la Terre vient en T′, l'étoile doit paraître en E′. Eh bien, il n'en est jamais ainsi. Au lieu d'être en E, l'étoile, sur le petit cercle qu'elle semble décrire, paraît de 90 degrés en retard ; même constatation lorsqu'elle devrait être en E′ ; en d'autres termes, elle paraît toujours être en retard de 3 mois sur la position qu'on devrait observer. Et voilà ce que BRADLEY ne comprenait pas. L'explication d'un phénomène aussi singulier lui vint, comme cela se produit souvent lorsqu'on cherche une solution, au moment où il ne s'y attendait pas. Un jour qu'il se promenait en bateau sur la Tamise, il fut très intrigué de voir la girouette placée en haut du mât, changer de direction toutes les fois que l'on virait de bord, comme si le vent avait tourné juste à ce moment-là. N'en trouvant pas la cause, il fit part de sa surprise aux marins qui l'accompagnaient : « Mais non, lui répondirent-ils, ce n'est pas le vent qui tourne brusquement, c'est la direction différente du bateau qui détermine à chaque fois ce changement ».

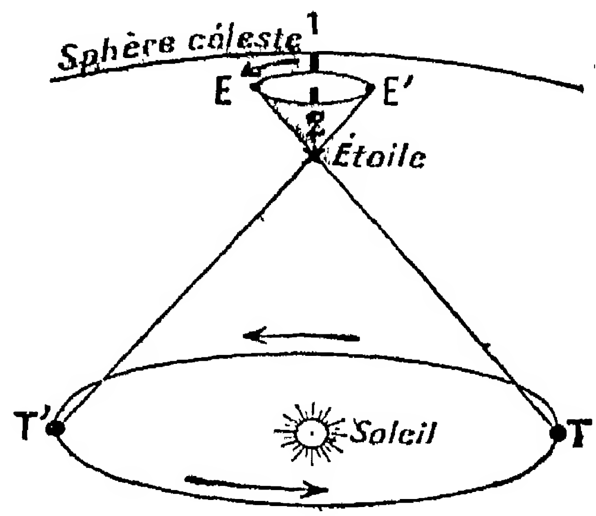


Fig. 18. — Effet de l'*aberration* sur la position apparente d'une étoile.

Aussitôt BRADLEY comprit que si le mouvement

combiné du bateau et du vent changeait la direction de la girouette, la même explication devait convenir pour le phénomène céleste qui le préoccupait : la marche de la Terre se combinait avec celle du rayon lumineux émané d'une étoile.

Vous mêmes, sans y apporter attention, avez été

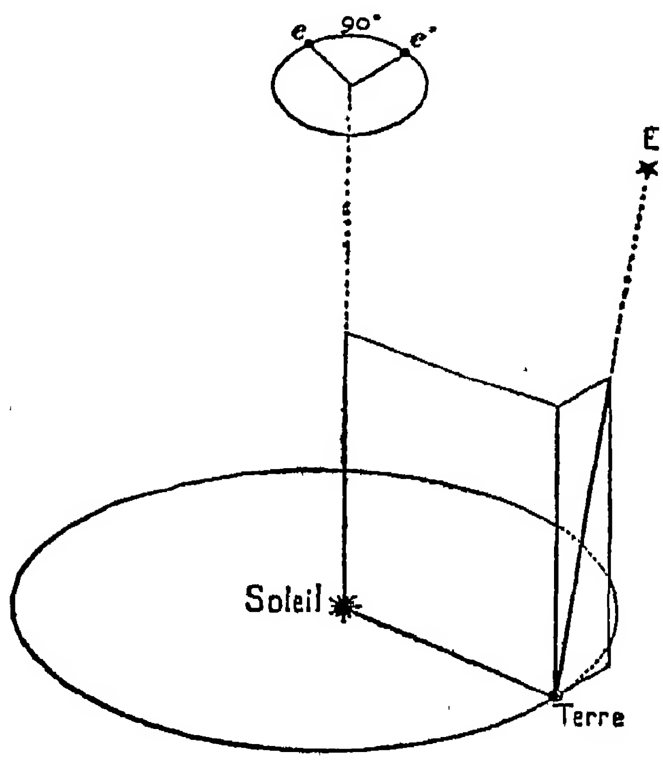


Fig. 19. — Si la Terre ne tournait pas autour du Soleil, l'étoile E serait vue en *e* sur l'ellipse supérieure, c'est-à-dire dans le plan du Soleil et à l'opposé de l'astre ; mais, en vertu de l'aberration, l'étoile est vue en *e'*, paraissant de 90° en retard sur la position *e*, donc sur le plan tangent à celui de l'orbite de la Terre.

bien souvent témoin d'un fait analogue. Lorsque les gouttes de pluie tombent verticalement, si vous n'avez pas peur de vous mouiller, essayez de courir en rond autour d'une pelouse de votre jardin, et vous constaterez que, malgré votre changement incessant de direction, non seulement la pluie vous frappe obliquement — comme on le constate pour la lumière des étoiles — mais toujours les gouttes de pluie paraissent venir *au-devant de vous*. En d'autres termes, la pluie semble changer sans cesse de direction et cette direc-

tion est toujours dans un plan *tangent* à la circonférence que vous décrivez ; elle est donc perpendiculaire à un rayon de cette circonférence, par conséquent de 90 degrés en retard sur la position d'une étoile qui serait à l'extrémité de la trajectoire d'une goutte de pluie, celle-ci remplaçant l'émission lumineuse stellaire (fig. 19).

Ainsi, nous possédons une preuve indiscutable du mouvement annuel de translation de la Terre autour du Soleil. Notre trajectoire est une ellipse, mais une ellipse très peu aplatie et qui se rapproche beaucoup d'une circonférence ; c'est d'ailleurs ce que nous prouverons bientôt.

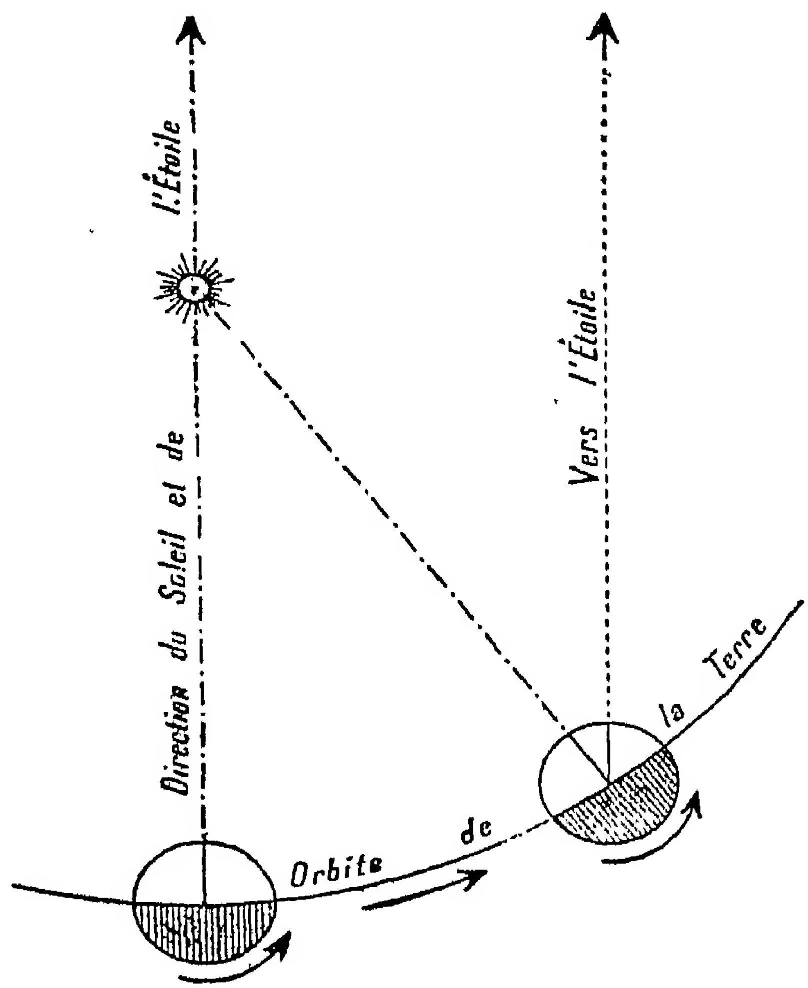


Fig. 20. — Figure montrant pourquoi le jour solaire est plus long que le jour sidéral.

Vous voilà à même de comprendre maintenant pourquoi le jour sidéral est un peu plus court que le jour solaire.

Notons, en un jour quelconque, le passage du Soleil

en face de notre méridien. Pour l'endroit où nous sommes, il est *midi*. Visons en même temps une étoile dans la même direction que le Soleil (1). Lorsque la Terre aura fait un tour entier sur elle-même, elle se sera avancée un peu sur son orbite, de la gauche vers la droite (sur la fig. 20), car elle circule dans le sens direct pour un spectateur placé sur le Soleil. Nous verrons donc l'étoile dans la même direction que la veille, c'est-à-dire que nos rayons visuels seront parallèles en raison du grand éloignement de l'étoile. Entre les deux instants, il se sera écoulé un jour sidéral ou 24 heures sidérales. Mais le Soleil étant relativement près de nous, comme nous nous sommes avancés vers la droite, il va nous sembler un peu en arrière, si bien qu'il faudra que la Terre tourne encore d'un petit angle pour que notre méridien repasse en face du Soleil. A ce moment, il sera de nouveau midi, c'est-à-dire qu'entre ce midi et le midi de la veille, il s'est écoulé un *jour solaire*.

Vous voyez donc que le jour solaire est un peu plus long que le jour sidéral, et l'expérience montre qu'en moyenne il est plus long de 4 minutes (exactement 3 minutes 56 secondes). Cette avance de l'étoile de 4 minutes le premier jour, est de 8 minutes le 2e jour, de 12 minutes le 3e jour, et ainsi de suite, ce qui nous explique pourquoi les apparences de la sphère céleste changent peu à peu au cours de l'année.

(1) L'étoile ne peut évidemment être observée en même temps, mais on peut tenir compte de sa direction par le calcul.

10. La Terre décrit une ellipse autour du Soleil.

Comment les astronomes ont-ils pu prouver que la trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse et non une circonférence ? D'une manière très simple, en théorie. Mais avant de procéder à cette démonstration, il nous faut donner quelques notions préliminaires sur le diamètre apparent d'un astre.

Demandez à plusieurs personnes de vous indiquer la grandeur que paraît leur présenter la Lune. Les unes vous diront qu'elles la voient grosse comme une assiette, d'autres la compareront à un tonneau. Pour certains, la queue d'un bolide aperçu dans le ciel est estimée d'une longueur d'un mètre, tandis que d'autres lui en supposent trois pour le moins.

Toutes ces réponses ne signifient absolument rien. Pour apprécier une grandeur réelle, il faut tenir compte de la distance : où placez-vous l'assiette, où placez-vous le tonneau ? En fait, le disque de la pleine Lune serait exactement couvert par un pain à cacheter de un centimètre de diamètre, placé à 1 m. 14 de votre œil. Il est impossible de juger de la dimension d'une cheminée d'usine, par exemple, si vous ne connaissez pas la distance qui vous en sépare.

Pour obtenir une précision il faut faire intervenir la notion d'angle. Voyez cet arbre placé au loin : tirez deux rayons visuels, l'un aboutissant au sommet, l'autre à la base (fig. 21) ; l'écartement de ces deux

droites, mesuré en degrés. à l'aide d'un rapporteur ou d'un graphomètre, vous donnera ce que l'on appelle le *diamètre apparent* de l'arbre. Si vous connaissez la distance de ce dernier, la Trigonométrie pourra

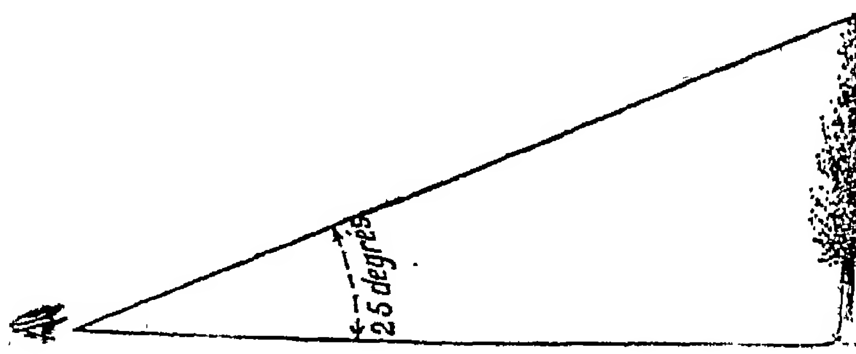


Fig. 21. — Ici, le *diamètre apparent* de cet arbre est de 25 degrés.

vous en fournir la hauteur, mais pour la question qui nous occupe, la Trigonométrie n'est pas en cause.

Maintenant, imaginez votre arbre 2 fois plus loin ; l'angle de vos deux rayons visuels sera diminué de moitié ; donc le diamètre apparent sera 2 fois plus petit ; il serait 3, 4, 5 fois moindre, etc., si l'arbre était 3, 4, 5 fois plus éloigné (fig. 22). Ceci n'est vrai rigoureusement, il faut se le rappeler, que pour des objets *très éloignés*, dont les diamètres apparents sont très petits et c'est bien le cas pour tous les astres qui nous entourent.

Le diamètre apparent de la Lune est d'environ un demi degré (fig. 23). Si elle s'éloignait du double de sa distance, son diamètre apparent ne vaudrait plus que 1/4 de degré, et nous nous en apercevrions aussitôt.

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer le diamètre apparent d'un astre. En voici une facile à comprendre : on dispose, derrière l'oculaire d'une

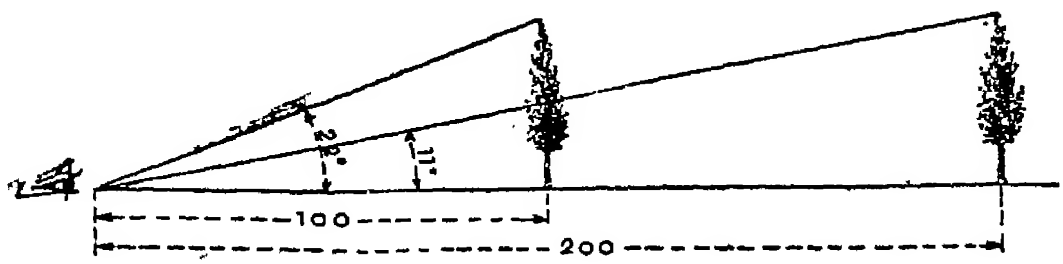
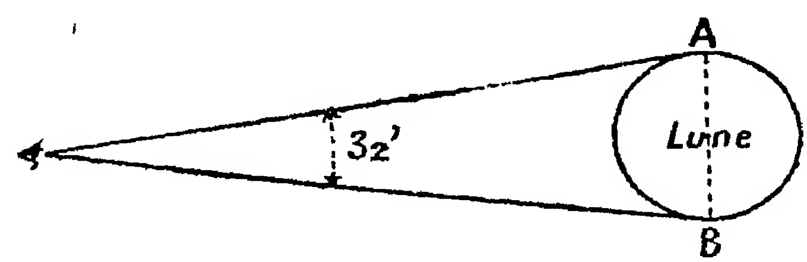


Fig. 22. — A 100 mètres, cet arbre est vu sous un angle de 22° ; à 200 mètres, son diamètre apparent n'est plus que de 11°, donc 2 fois moindre ; ceci n'est vrai rigoureusement que pour un objet très éloigné et de diamètre apparent très petit, pour la Lune, par exemple, dont le diamètre apparent est de 32′ en moyenne. V. fig. 23.



lunette, deux fils très fins parallèles, et l'un de ces fils est mobile, grâce à un tambour agissant sur une vis qui détermine l'écartement des deux fils. On amènera donc l'astre dans le champ de la lunette et on l'encadrera exactement par les deux fils qui deviendront ainsi tangents au disque de l'astre (fig. 24). Le tambour gradué vous donnera alors l'écartement en minutes et en secondes d'angle (1).

Appliquons la méthode au Soleil. Mesurons son

(1) Aucun astre n'offre un diamètre apparent de un degré.

diamètre apparent le 1er jour de chaque mois, par exemple, et supposons que nous ayons trouvé les chiffres suivants :

1er janvier	: 32′35″ ou 1955″	1er mai	: 31′47″ ou 1907″
1er février	: 32′31″ ou 1951″	1er juin	: 31′35″ ou 1895″
1er mars	: 32′19″ ou 1939″	1er juillet	: 31′30″ ou 1890″
1er avril	: 32′ 3″ ou 1923″		

Comme la Terre tourne autour du Soleil en 365 jours et que le cercle contient 360 degrés, on voit que nous

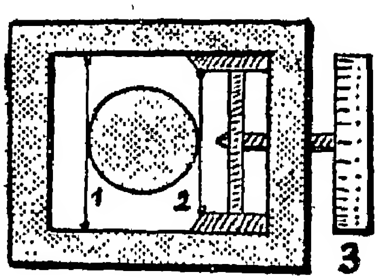


Fig. 24. — Instrument appelé *micromètre* et destiné à mesurer le diamètre apparent d'un astre.
1, fil fixe ; 2, fil mobile ; 3, tambour gradué.

nous déplaçons de un degré, à très peu de chose près, en un jour. C'est d'ailleurs de cette même quantité que le Soleil se déplace en apparence dans le ciel parmi les constellations dans le sens direct. Chaque mois, la Terre avance donc sur sa route céleste d'environ 30 degrés.

Autour d'un point central représentant le Soleil, traçons donc des rayons de 30 en 30 degrés, un pour chaque mois (fig. 25). Sur la droite qui représentera la direction de la Terre au 1er janvier, prenons une longueur arbitraire de 100 millimètres, par exemple. Si je suppose que cette valeur correspond à un diamètre apparent de 1955″ (v. le Tableau précédent), quelle longueur devrons-nous prendre sur la droite

du 1er février pour que celle-ci corresponde au diamètre apparent que nous avons mesuré, soit 1951″ ?

Les distances étant inversement proportionnelles

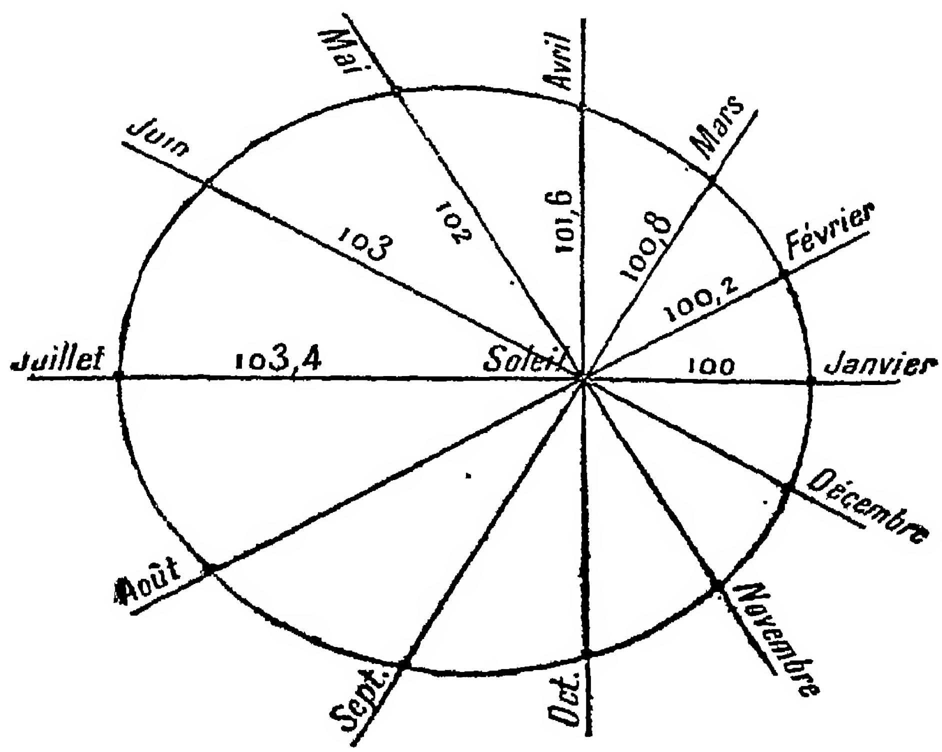


Fig. 25. — Comment on détermine la forme de l'orbite de la Terre au moyen du diamètre apparent (*variable*) du Soleil, au cours de l'année.

aux diamètres apparents, je dirai : Si 100 correspond à 1955″, un diamètre apparent de 1″ correspondra à une distance 1955 fois plus grande, soit : 100 × 1955 et sera donc représenté à la même échelle par une longueur égale à 195500 ; mais pour un diamètre apparent de 1 951″ la longueur sera 1 951 fois moindre, soit 195 500 divisé par 1 951 = 100,2 pour le 1er février. On obtiendrait par des règles de trois analogues

100,8 pour Mars ; 101,6 pour Avril ; 102 pour Mai ; 103 pour Juin et 103,4 pour Juillet.

Portons maintenant ces différentes longueurs sur les directions correspondant aux mois successifs, puis

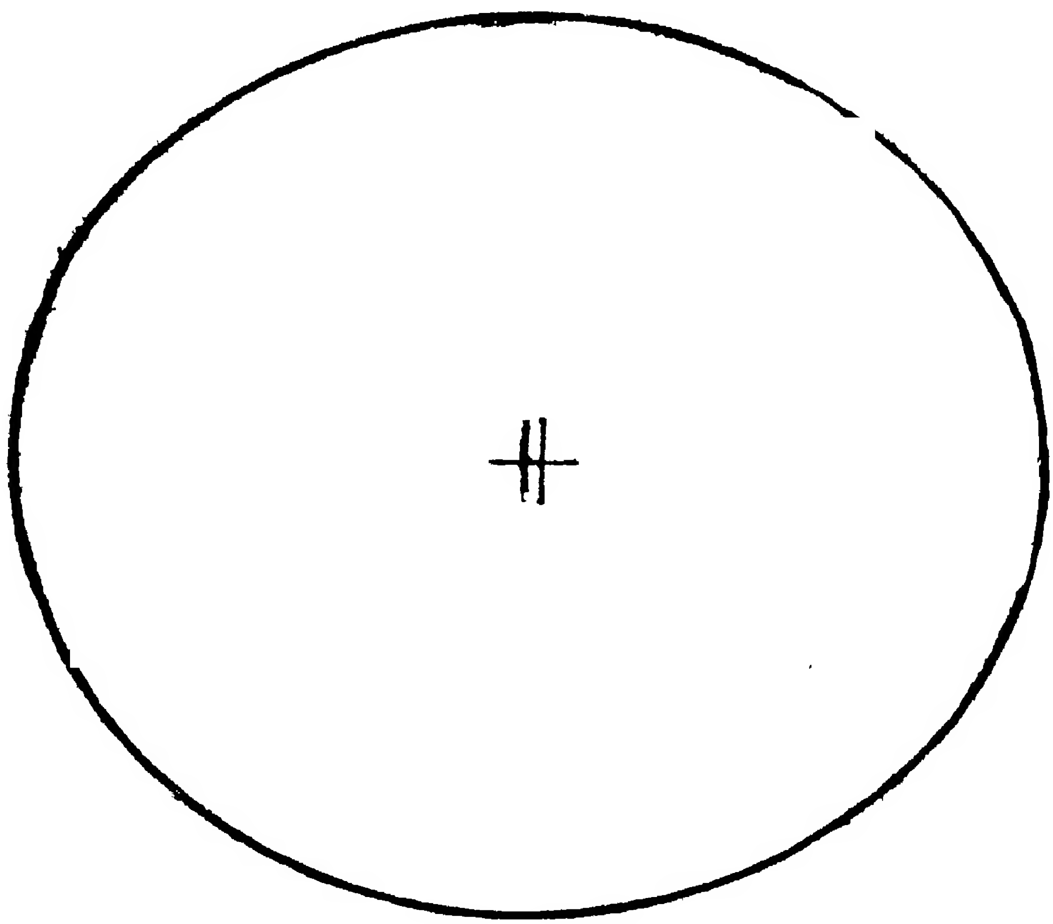


Fig. 26. — Représentation exacte de la forme de l'orbite de la Terre. Les deux traits parallèles au milieu de la figure donnent l'emplacement des deux foyers de l'ellipse. A cette échelle, l'ellipse représentée peut être facilement confondue avec une circonférence.

réunissons les positions de la Terre ainsi obtenues par une courbe, nous pourrons constater que nous venons de construire une moitié d'ellipse. En continuant ainsi pour les autres mois de l'année, nous verrions que la Terre repasserait par des positions

symétriques et nous aurions l'image de l'ellipse toute entière (fig. 25).

A cette première constatation vient s'en ajouter une seconde que peut-être avez-vous déjà formulée à la seule inspection de la figure. C'est que la Terre est plus près du Soleil en Janvier qu'en Juillet ; les chaleurs de l'été ne tiennent donc pas à une plus grande proximité du Soleil et nous chercherons plus loin la cause des saisons. Au reste, vous pourrez constater, par les nombres représentant les distances relatives, que celles-ci ne varient pas énormément au cours de l'année. Pour la compréhension du mécanisme de construction de la courbe, le dessinateur a exagéré à dessein l'aplatissement de l'ellipse, car, à une si petite échelle, notre trajectoire serait confondue avec une circonférence. On peut donc dire que la courbe qui représente notre route dans l'espace, notre orbite, comme disent les astronomes, est à peu près circulaire (fig. 26). Cette considération nous aidera beaucoup lorsque j'en arriverai à vous expliquer comment on calcule la distance réelle, en kilomètres, de la Terre au Soleil.

TROISIÈME LEÇON

LA GRAVITATION UNIVERSELLE
KÉPLER ET NEWTON

Lorsque s'ouvrit le XVII^e siècle, la plupart des astronomes étaient encore assez loin d'admettre le Système de COPERNIC. Vous vous souvenez que le chanoine de Thorn, faisant litière du Système de PTOLÉMÉE, soutenait que la Terre et les planètes tournaient autour du Soleil, mais il admettait des orbites circulaires, ce qui n'était pas exact. TYCHO-BRAHÉ, qui mourut en 1601, après avoir réalisé des milliers d'observations d'étoiles et de positions de planètes, avait bien remarqué les défauts du Système de COPERNIC, mais sa théorie, erronée d'ailleurs, s'était montrée impuissante à y remédier. Pendant les dernières années de sa vie, il avait enrôlé le jeune KÉPLER parmi ses collaborateurs et ce fut ce disciple qui, ayant hérité de ses manuscrits et des données lentement recueillies, se chargea de trouver la véritable image du Système solaire.

Bien qu'avant de mourir, TYCHO ait fait promettre à KÉPLER de ne pas se servir de ses observations pour

justifier le Système de Copernic, le jeune astronome, heureusement, ne tint pas sa promesse et lorsqu'il fut en possession des observations de la planète Mars, faites par son maître, il ne vit en cela que l'effet de la Providence divine. Il est certain que sans les observations de Tycho, Képler n'eût jamais trouvé les lois qui ont immortalisé son nom.

11. Les lois de Képler.

Nous avons démontré dans la précédente Leçon que la Terre décrit *une ellipse* autour du Soleil ; eh bien, toutes les planètes en font autant ; c'est là une règle générale ; telle est la *première loi* découverte par Képler en 1609.

Dans la *Géométrie dans l'espace*, j'ai déjà eu l'occasion d'étudier l'ellipse, mais peut-être ne sera-t-il pas inutile de revenir sommairement sur ce sujet.

Plantez deux épingles sur un carton, réunissez-les par un fil de longueur plus grande que leur distance, puis tendez le fil à l'aide d'un crayon et tracez une courbe en faisant circuler et glisser le crayon le long du fil, vous aurez une *ellipse*. Les deux épingles marquent ce que l'on appelle les deux *foyers* de l'ellipse (voir la figure 27). L'intervalle qui les sépare se nomme *distance focale*. Il est bien évident que si vous rapprochez les deux épingles, votre ellipse sera moins aplatie, plus semblable à une circonférence. Si vous les éloignez l'une de l'autre, elle sera plus

aplatie. On dit aussi que l'ellipse est plus excentrique. L'*excentricité* est, pour l'ellipse, une caractéristique très employée par les astronomes. Voulez-vous apprendre à la calculer ? Rien de plus simple. Il suffit

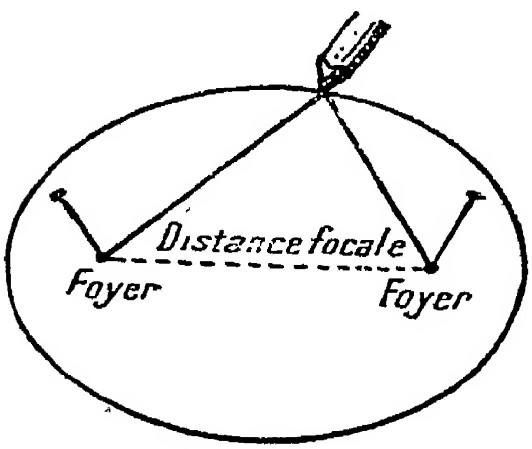


Fig. 27. — Comment on trace une ellipse.

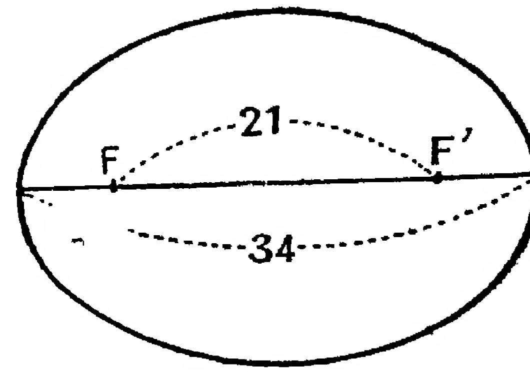


Fig. 28. — Comment on calcule l'*excentricité* d'une ellipse.

de diviser la distance focale par la longueur du grand axe de l'ellipse. Ainsi, dans la figure 28, nous voyons que la distance focale est de 21 millimètres, alors que le grand axe mesure 34 millimètres. Divisant 21 par 34, nous trouvons 0,60 au quotient. Nous dirons donc que notre ellipse offre une excentricité de 0,60.

Képler a montré également que le Soleil occupe l'un des foyers de chaque ellipse planétaire. L'excentricité des ellipses décrites par les planètes est toujours assez faible : elle est de 0,0167 pour la Terre, de 0,0068 pour Vénus (donc très faible) ; mais, par contre, Mars présente une forte excentricité de 0,09 et c'est cette heureuse circonstance qui ouvrit les yeux de Képler et lui fit découvrir sa première loi.

Mais déjà son attention avait été attirée sur les différences de vitesse que les planètes accusaient au cours de leurs randonnées presque circulaires. Elles allaient plus vite en approchant du Soleil, lorsqu'elles

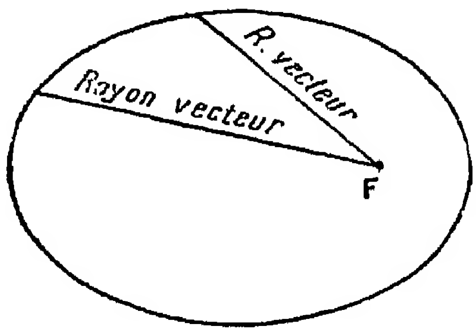


Fig. 29. — Notion du rayon vecteur.

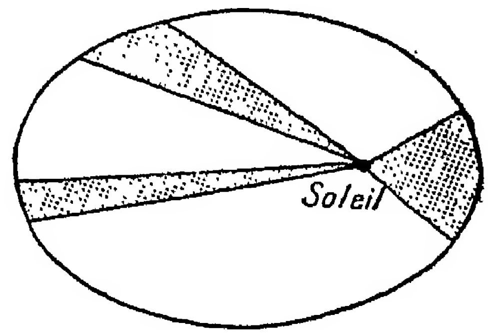


Fig. 30. — 2e loi de Képler ou *loi des aires*.

étaient à leur périhélie (1) et marchaient plus lentement vers leur *aphélie*. En étudiant les vitesses sur l'orbite, KÉPLER formula cette *seconde loi :*

Le rayon vecteur qui joint une planète au Soleil décrit des aires équivalentes dans des temps égaux (2ème loi, dite *loi des aires*).

Le *rayon vecteur* dont il est question ici, est simplement toute droite qui joint un point de la courbe de l'ellipse à l'un des foyers (fig. 29). La figure 30 fait très bien comprendre la loi ; les arcs d'ellipse qui limitent les surfaces ombrées sont décrits dans des temps égaux, car ces surfaces ombrées ont été construites équivalentes. Dans l'énoncé de cette loi, qu'il

(1) *Périhélie, aphélie* du grec *péri*, près ; *apo*, loin + *hélios*, soleil. Ces deux positions ont lieu aux deux extrémités du grand axe de l'ellipse.

découvrit en premier lieu, Képler avait même employé une expression très pittoresque et qui en fait bien saisir le mécanisme. Il disait : *Les rayons vecteurs* balayent *des surfaces égales dans des temps égaux.* On comprend en effet que si le secteur est très allongé, la planète n'ait pas lieu d'aller très vite pour *balayer* une surface donnée. Donc, la vitesse de la planète est d'autant plus lente que son rayon vecteur est plus long. Mais, en approchant du Soleil, la planête doit accélérer sa marche. Ceci est facilement compréhensible, puisque l'attraction du Soleil se fait d'autant plus sentir que l'astre est plus proche. C'est d'ailleurs ce que nous verrons avec quelque détail en étudiant bientôt les lois de Newton.

Toutefois, Képler n'avait pas attendu la venue du célèbre mathématicien anglais pour formuler dans son esprit quelque loi de l'attraction universelle. Il pensait que les corps s'attirent suivant leur masse et que si la distance augmente, la force attirante diminue. Aussi était-il déjà persuadé, à l'époque où il découvrit les deux premières lois, qu'il existait une relation entre le temps que met une planète à tourner autour du Soleil (le *temps de sa révolution*, pour employer le langage astronomique) et la *distance* qui la sépare de l'astre central de notre Système.

Képler était d'autant plus convaincu d'une relation mathématique entre le temps et la distance que toute sa vie, il avait été hanté par l'idée de rechercher une sorte d'harmonie nécessaire dans l'ensembel

des mouvements célestes. « Dieu a tout disposé avec nombre, poids et mesure » dit la Bible, et cette proposition, Képler, qui était profondément religieux, en avait fait sa devise, presque l'outil de son travail.

Aussi, quelle ne fut pas sa joie lorsque, après dix-sept années d'efforts et de méditations, finit-il par entrevoir la vérité. Il faut lire dans ses *Harmonices mundi* le long passage qui rapporte cette découverte et qui respire toute l'ardeur d'un génie inspiré :

« Après avoir trouvé les dimensions véritables des orbites, grâce aux observations de Brahé et à l'effort continu d'un long travail, enfin j'ai découvert la proportion des temps périodiques à l'étendue de ces orbites. Et si vous voulez en savoir la date précise, c'est le 8 mars de cette année 1618, que, d'abord conçue dans mon esprit, puis maladroitement essayée par des calculs, partant rejetée comme fausse, puis reproduite le 15 de mai avec une nouvelle énergie, elle a surmonté les ténèbres de mon intelligence, si pleinement confirmée par mon travail de dix-sept ans sur les observations de Brahé, et par mes propres méditations parfaitement concordantes, que je croyais d'abord rêver et faire quelque pétition de principe ; mais plus de doute : c'est une proposition très certaine et très exacte... » (*Harmonices Mundi*, L. V, ch. 3).

Suit l'énoncé de la loi en des termes que d'ailleurs on n'emploie plus aujourd'hui. La *troisième loi* de Képler, telle qu'on la trouve dans nos Traités

d'Astronomie, n'est guère plus facile à vulgariser. Aussi, vais-je la présenter sous une forme un peu différente, mais que tous vous pourrez comprendre immédiatement.

Si l'on prend pour unité de temps notre année et pour unité de longueur la distance de la Terre au Soleil, nous pouvons énoncer la loi suivante :

Le carré du temps de révolution d'une planète est égal au cube de sa distance moyenne au Soleil.

Vérifions à l'aide des données que nous avons sur Jupiter. Cette planète met $11^{\text{ans}},86$ à faire sa révolution autour du Soleil. A sa distance moyenne, elle en est éloignée de 5,2 fois notre distance à ce même Soleil. On doit donc avoir :

11,86 au carré = 5,2 au cube,

ou : $11{,}86 \times 11{,}86 = 5{,}2 \times 5{,}2 \times 5{,}2$.

Effectuez les opérations et vous trouverez précisémment que le carré de 11,86 est bien égal au cube de 5,2, c'est-à-dire à 140,6.

Remarquez qu'il est toujours facile de déterminer le temps que chaque planète met à tourner autour du Soleil et à revenir à son point de départ. On pourra donc aussitôt donner sa distance au Soleil, celle de la Terre à ce dernier astre étant prise comme unité. Essayons sur une autre planète, soit Saturne.

La durée de révolution de Saturne est de $29^{\text{ans}},5$. Elevons ce nombre au carré, nous trouvons 870. Puisque ce dernier nombre représente le cube de la

distance de Saturne au Soleil, j'obtiendrai cette distance en prenant la racine cubique de 870.

Que vous effectuiez le calcul ou que vous consultiez une Table, vous trouverez que la racine cubique de 870, est 9,5 (1).

Donc la distance moyenne de Saturne au Soleil est 9,5 c'est-à-dire 9 fois 1/2 l'unité astronomique employée (distance du Soleil à la Terre).

Ainsi, à partir de la découverte de la 3e loi de KÉPLER, les astronomes étaient à même de dresser un plan exact du Système solaire connu à cette époque (2), mais il leur restait à déterminer à quelle échelle ce plan était tracé. Dans ce but, il leur fallait calculer la distance du Soleil à la Terre, qui constitue pour eux l'unité de longueur. Personne, au commencement du XVIIe siècle, ne pouvait imaginer les difficultés inhérentes à une tâche aussi délicate.

Je vais donner le Tableau que pouvait déjà dresser KÉPLER et qui justifiait sa 3e loi.

On verra que l'accord entre les carrés des révolutions ou des périodes avec les cubes des distances est très satisfaisant ; il serait absolument parfait si on utilisait beaucoup plus de décimales pour les périodes.

(1) On trouvera les Tables des carrés, des cubes. des racines carrées et des racines cubiques dans mon petit Formulaire de Mathématiques (Doin, éditeur).

(2) La dernière planète connue était Saturne. Voir le Tableau des éléments des planètes à la fin de la VIème Leçon et le plan actuel du Système solaire (fig. 31).

TABLEAU DRESSÉ D'APRÈS LA 3e LOI DE KÉPLER.

Planète	Distance	Cube de la distance	Période en années	Carré de la période
Mercure	0,387	0,058	0,241	0,058
Vénus	0,723	0,378	0,615	0,378
La Terre	1,000	1,000	1,000	1,000
Mars	1,524	3,540	1,881	3,538
Jupiter	5,203	140,8	11,86	140,66
Saturne	9,539	868,0	29,46	867,9

12. Les lois de Newton sur l'attraction universelle.

Sans doute connaissez-vous tous cette fameuse histoire de la pomme de NEWTON (1) ; il est de mode maintenant de la qualifier de légende sans qu'on puisse savoir pourquoi. Cette histoire, appuyée sur des témoignages contemporains, m'a toujours paru au contraire des plus vraisemblables. Que de fois n'ai-je pas eu l'occasion de constater que les solutions de problèmes difficiles nous apparaissaient soudain à l'occasion d'un geste ou d'un phénomène mécanique parfois insigniffant.

Depuis des années, NEWTON cherchait la cause de la pesanteur et les lois qui régissent cette force mystérieuse. Quoi d'étonnant qu'un fait banal, comme la chute d'une pomme, ait fait jaillir l'étincelle !

(1) Newton (Isaac) (1642-1727) mathématicien, astronome et physicien anglais.

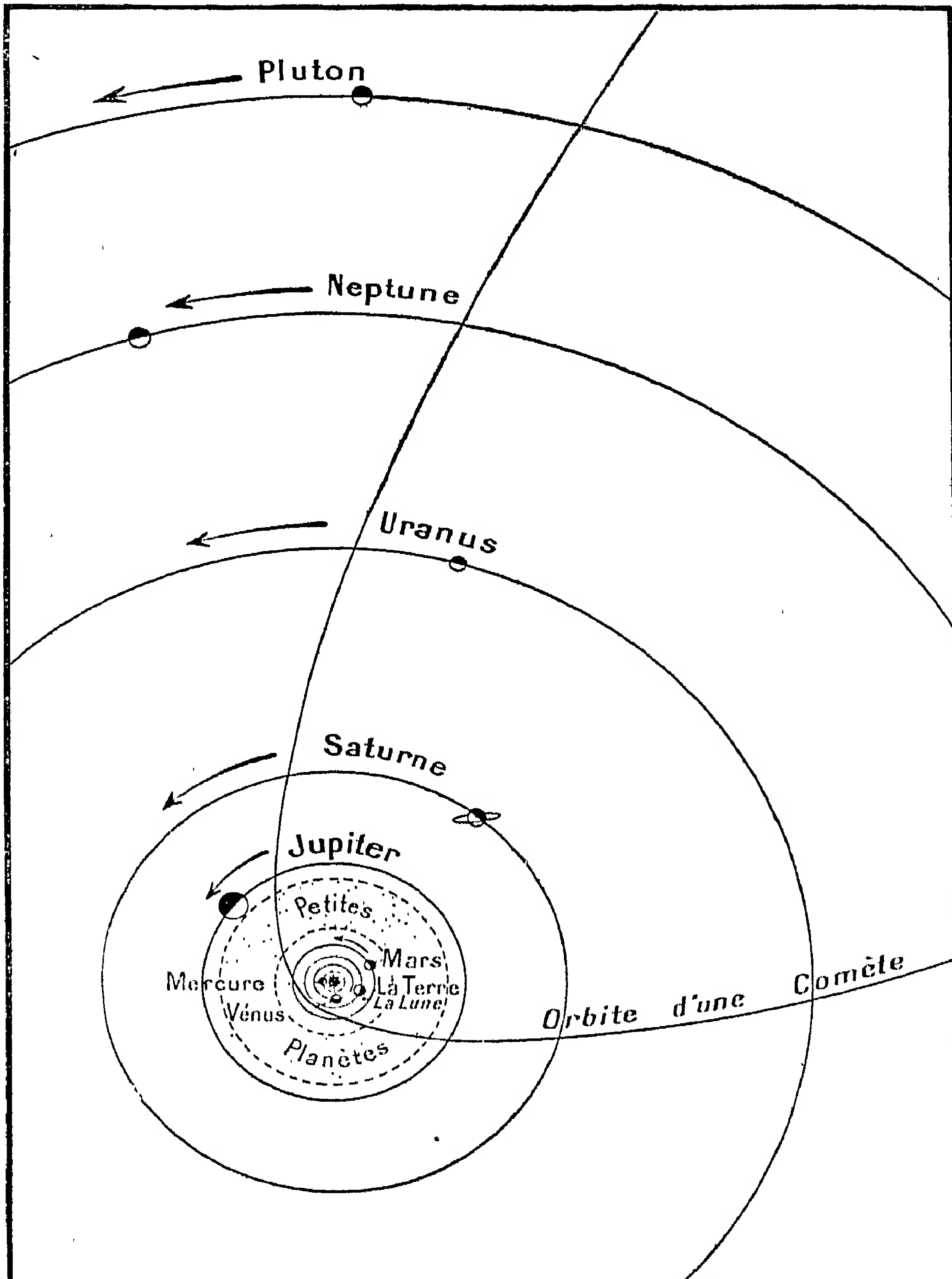


Fig. 31. — Plan du Système solaire.
(Le Soleil occupe le centre des orbites des planètes).

Les corps s'attirent proportionnellement à leur masse. Si nous doublons la masse, l'attraction devient 2 fois plus forte ; si nous triplons la masse, l'attraction sera 3 fois plus grande, et ainsi de suite.

Cette proposition si simple était déjà dans l'air depuis longtemps et KÉPLER l'avait formulée dans plusieurs passages de ses écrits, mais là s'était arrêtée sa géniale intuition. La Terre ne faisait pas exception à la règle et sa force attirante constituait sans doute la *pesanteur*.

Mais cette force d'attraction, jusqu'où s'étendait-elle ? Voilà le problème qui hantait NEWTON lorsque, fuyant la peste qui sévissait à Londres, le savant mathématicien s'était réfugié dans son pays natal. Comme je l'ai fait remarquer, la chute d'une pomme survenant au milieu de ses méditations solitaires peut très bien avoir aiguillé son esprit vers de nouveaux horizons. Ce jour là, NEWTON reprit donc la question en suspens et se demanda si la force d'attraction de la Terre ne s'étendait pas indéfiniment autour d'elle et si ce n'était pas là qu'il fallait chercher la cause du mouvement de la Lune qui tourne inlassablement, rivée à notre planète. Déjà l'illustre physicien avait formulé en son esprit la fameuse loi du carré des distances :

Non seulement, pensait-il, les corps *s'attirent* proportionnellement à leur masse, mais aussi *en raison inverse du carré des distances,* c'est-à-dire qu'à une distance double, la force d'attraction est 2 × 2 =

4 fois moindre ; à une distance triple, elle est 3 × 3 = 9 fois plus faible ; à une distance 60, elle est 60 × 60 = 3600 fois moins forte.

Mais comment vérifier cette proposition ? En l'appliquant à la Lune. Si vraiment l'attraction, qui a nom *pesanteur*, lorsqu'on l'applique à la Terre, est la même force que celle qui fait tourner la Lune autour de nous, il existe en moyen très simple de s'en assurer. Lorsque, du haut d'une tour, on tire un projectile horizontalement, la trajectoire qu'il décrit s'infléchit très vite parce qu'il est attiré par la Terre. Sans cette attraction, les lois de la Mécanique nous l'apprennent, notre projectile décrirait une ligne droite et s'enfuirait par la tangente à la sphère terrestre (fig. 32).

Fig. 32. — Courbe décrite par un obus lancé horizontalement.

A la surface de notre planète, c'est-à-dire à la distance de 1 rayon du centre de la Terre, tout corps abandonné à lui-même tombe de 4 m. 90 dans la première seconde de chute (1). Si donc nous transportions le même corps à la hauteur de la Lune, comme celle-ci gravite à une distance de 60 rayons terrestres, l'attraction devrait être 60 × 60 = 3600 fois plus faible, et si la loi du carré des distances est exacte, ce corps devrait manifester une chute

(1) De même pour notre projectile tiré horizontalement : au bout de la première seconde, il s'est rapproché du sol de 4 m. 90.

de 4 m. 90 divisé par 3600, soit 1 millimètre 1/3 (exactement $1^{mm},36$). Notez également que ce 1 millimètre 1/3 représenterait l'écart entre la ligne droite que suivrait la Lune si elle n'était pas attirée par la Terre et le point de la circonférence qu'elle occupe au bout d'une seconde de parcours (v. fig. 33).

Voilà le genre de raisonnement que se fit NEWTON et il entreprit aussitôt une vérification de son hypothèse au moyen du calcul. A son époque, on savait déjà que la Lune est à une distance de la Terre égale à 60 rayons terrestres environ, mais la valeur qu'on donnait au rayon du globe terrestre était loin d'être exacte. Aussi, le nombre que trouva Newton pour la mesure de la force qui retient la Lune dans son orbite se montra-t-il plus grand que ne l'exigeait l'identification de cette force avec la pesanteur, et, déçu, le savant mathématicien abandonna-t-il son idée. Il y revint cependant seize ans plus tard, un jour qu'assistant à une séance de la Société royale de Londres, il connut le résultat des travaux de l'Abbé PICARD, qui venait de mesurer d'une façon exacte la valeur d'un arc de un degré du méridien et de fixer ainsi la longueur du rayon de la Terre. Avec ces nouvelles données, NEWTON reprit ses calculs, mais à mesure qu'il avançait et qu'il constatait l'exactitude de sa théorie et la confirmation de ses longues méditations sur ce magnifique sujet, il ressentit une émotion si vive qu'il ne put ce jour-là mener ses calculs jus-

qu'au bout et qu'il dut prier un de ses amis de les achever pour lui.

Le principe de la méthode employée par NEWTON est assez simple et avec un peu d'attention vous allez le comprendre sans difficulté. Traçons l'orbite de la Lune que nous placerons au point L, la Terre occupant le centre de l'orbite lunaire (fig. 33). Si la Lune était libérée de l'attraction terrestre, elle s'éloignerait du point L suivant la direction de la tangente et au bout d'une seconde elle serait en M, alors que, soumise à l'attraction de la Terre, elle est venue en A. MA représente l'écart entre ces deux positions et par conséquent la *quantité dont la Lune tombe* réellement vers la Terre *en une seconde.*

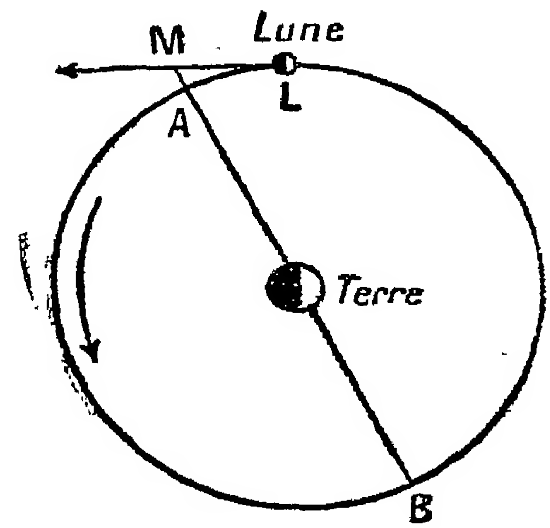


Fig. 33. — Chute de la Lune vers la Terre.

L'arc LA est tout-à-fait identique à la trajectoire du projectile de la figure précédente, mais pour la compréhension, il a été très exagéré sur la figure 33. C'est cette quantité MA, cette chute vers la Terre, qu'il faut calculer et qui, si NEWTON a dit vrai, doit égaler un peu plus de 1 millimètre.

Je remarque immédiatement que du point M partent une tangente ML et une sécante MB ; dans cette dernière, MA constitue la partie extérieure à la

circonférence. Ouvrez maintenant *Pour comprendre la Géométrie plane* et voyez aux nos 165 et 166. Vous lirez ce théorème : *La tangente est moyenne proportionnelle entre la sécante entière et sa partie extérieure* (suit un exemple numérique n° 166). Traduisons pour le cas qui nous occupe et nous écrirons :

Tangente M L au carré = M A × sécante entière ou M B.

M L (ou L M ou L A) est le chemin parcouru par la Lune en une seconde. Calculons-le.

Le rayon de la circonférence décrite par la Lune autour de la Terre n'est autre que la distance de la Lune, soit 384 000 kilomètres en nombre ronds.

La circonférence vaut donc :

$$384\,000 \times 2 \times 3{,}14 = 2\,411\,520 \text{ km.}$$

On sait que la Lune tourne autour de la Terre en 27 jours 7 heures 43 minutes et 12 secondes, soit au total 2 360 592 secondes. En divisant 2 411 520 km par ce nombre de secondes, nous avons le chemin parcouru par la Lune en une seconde et nous voyons qu'il égale 1 021 mètres, un peu plus d'un kilomètre, et c'est cette quantité qui, élevée au carré, doit égaler M A multiplié par la sécante. On a donc :

$$1021 \times 1021 = 1\,042\,441 = \text{M A} \times \text{sécante entière.}$$

Mais la sécante entière se compose du diamètre de l'orbite lunaire (qui vaut 2 rayons de 384 000 kil., soit 768 000 kilomètres) auquel on devrait ajouter le petit écart dont nous cherchons la valeur. D'avance

et à la seule réflexion, nous savons que M A est tellement petit, de l'ordre du millimètre, qu'il est bien inutile de l'ajouter aux 768 000 kil. du diamètre de l'orbite lunaire. Nous pouvons donc écrire finalement :

Tangente au carré = M A × diamètre de l'orbite lunaire

ou 1 042 441 m. = M A × 768 000 000 m.

Il est évident que pour connaître la valeur de M A, il nous suffit maintenant de diviser 1 042 441 par 768 000 000. Effectuez l'opération et vous trouverez 1 millimètre, 36 en forçant un peu le chiffre des centièmes de millimètre.

Si je vous avoue que j'ai arrondi les distances afin d'éviter des opérations trop longues, vous conviendrez que c'est là un magnifique résultat et qui démontre péremptoirement la loi de la gravitation.

Ainsi, quelle que soit la distance, chaque corps céleste attire tous les autres suivant les masses en présence. La planète attire ses satellites et, en même temps est attirée par le Soleil. Mais réciproquement, le Soleil est attiré par ses planètes qui, elles-mêmes, sont attirées par leur satellites.

En soumettant ces problèmes à l'Analyse mathématique, Newton a pu démontrer que les lois de Képler ne sont, en fait, que le corollaire obligé des lois de la gravitation universelle. Les trajectoires que peuvent décrire les corps célestes soumis à l'attraction d'un corps central sont des sections de cône :

cercles, ellipses, paraboles ou hyperboles (fig. 34). La nature de la courbe dépend des vitesses des mobiles considérés (1).

Généralement, les orbites constatées sont des ellipses plus ou moins allongées, plus ou moins excentriques. Certaines comètes décrivent des trajectoires qui se rapprochent énormément de la parabole. Dans cette dernière courbe, comme dans l'hyperbole, le second foyer est rejeté à l'infini, c'est-à-dire qu'il n'existe pas. Une comète dont l'orbite serait nettement parabolique s'enfuirait dans l'espace et ne reviendrait jamais.

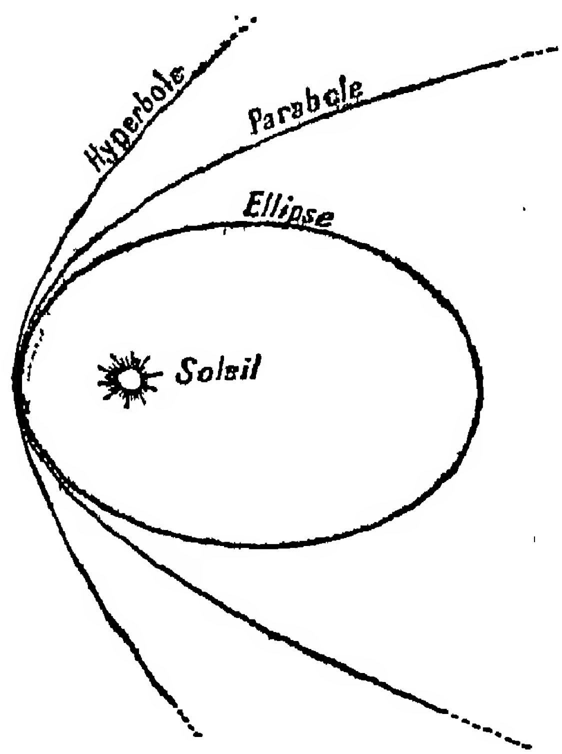


Fig. 34. — Trajectoires que peut décrire un corps soumis à l'attraction du Soleil.

J'ai dit que la nature de la courbe dépendait de la vitesse du mobile. Je vais illustrer ma proposition par un exemple. Nous avons parlé précédemment d'un projectile qu'on lancerait horizontalement du haut d'une tour. Donnons à ce propos quelques chiffres.

Avec les vitesses obtenues dans nos canons actuels,

(1) Pour les sections coniques, voyez *Pour comprendre la Géométrie dans l'espace*, où sont données les figures.

tout projectile tiré sur la Terre retombe sur le sol en décrivant un arc d'ellipse, qu'on assimile pour la commodité du calcul à un arc de parabole, car il s'en écarte très peu (V. fig. 35).

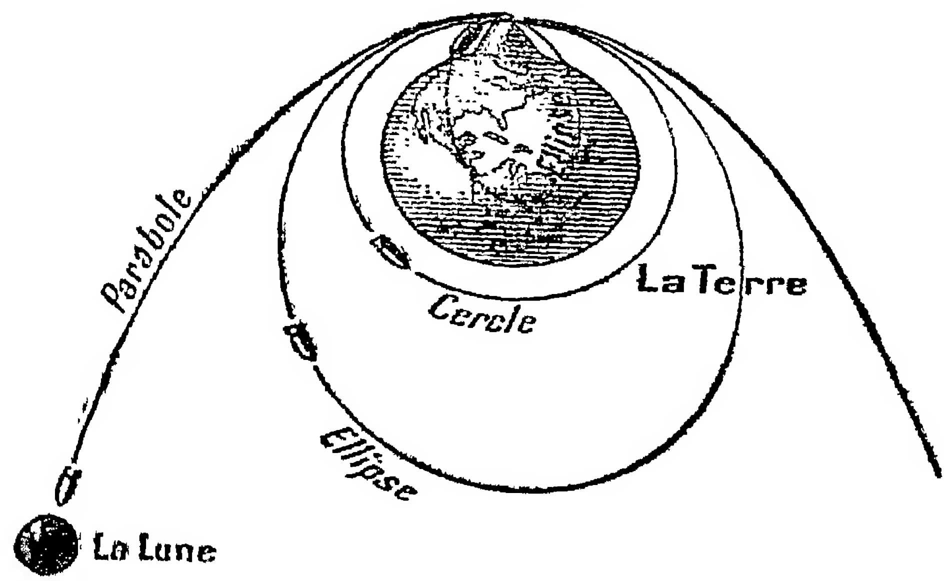


Fig. 35. — Trajectoires que décrirait autour de la Terre un mobile animé de diverses vitesses initiales.

Mais augmentons la vitesse, tout en tirant horizontalement du haut d'une montagne élevée ; dès que nous aurions atteint le chiffre de 7 900 mètres à la seconde, notre projectile deviendrait un satellite de la Terre. Il décrirait alors une orbite exactement circulaire et exécuterait sa révolution en $1^h\ 24^m\ 42^s$. Ce cas est théorique, car nous n'avons pas tenu compte de la résistance de notre atmosphère.

La moindre augmentation de vitesse transformerait de nouveau la trajectoire de l'obus en une courbe elliptique dont la Terre occuperait l'un des foyers. Mais si nous passions à la vitesse de 11 180 mètres

à la seconde, la trajectoire se transformerait en parabole et le corps ne retomberait jamais sur la Terre. C'est cette vitesse dite *parabolique* — qui varie suivant la masse de la planète — qu'il faudrait atteindre pour vaincre la pesanteur et dont rêvent les pionniers de l'Astronautique. Les vitesses initiales obtenues jusqu'à ce moment n'ont guère dépassé, que je sache, 3 ou 4 kilomètres, nous sommes donc très loin de pouvoir organiser des expéditions dans la Lune et dans les planètes !

En augmentant la vitesse parabolique, la trajectoire se transformerait en hyperbole.

Vous le voyez, les lois de la gravitation sont à même d'expliquer, en partant de principes extrêmement simples, tous les mouvements si variés des corps célestes. En les découvrant, NEWTON réalisait le vœu le plus cher que KÉPLER avait formulé en son esprit un demi-siècle auparavant : « Le Créateur a tout disposé dans l'Univers avec nombre, poids et mesure ». Tout en prouvant la vérité de ces paroles de SALOMON, le grand mathématicien anglais venait de fonder la *Mécanique céleste*, cette science merveilleuse qui permet à l'Astronome de scruter l'Univers jusque dans ses profondeurs, de mesurer les distances des astres, de prévoir leurs mouvements et même de *peser* les mondes aux balances rigoureuses du calcul.

Cette dernière prouesse est peut être celle qui étonne le plus un profane. Maintenant que vous

connaissez les deux lois newtoniennes de la gravitation, j'espère pouvoir vous montrer qu'au demeurant, le fait de peser le Soleil ou n'importe quelle planète n'offre rien de bien mystérieux.

13. Comment on a « pesé » la Terre.

Pour l'instant, je me contenterai de vous faire comprendre comment on est parvenu à peser la Terre, grâce aux lois de la gravitation universelle.

Mais ici, attention ! Les physiciens, comme tous les savants, sont gens précis et pointilleux : « Nous n'avons pas précisément pesé la Terre, me diront-ils ; nous avons simplement déterminé sa *masse* ». — Oui, je le sais ; aussi m'étais-je promis, en écrivant le titre de ce paragraphe, de vous fournir une toute petite explication.

Dans le langage courant, on confond *poids* et *masse* et je n'y vois aucun inconvénient, mais, je vous l'ai dit, les physiciens ne l'entendent pas de cette oreille. Le *poids* d'un corps, c'est la force avec laquelle ce corps est attiré par la Terre. Mais, nous l'avons vu, cette force varie : elle diminue si l'on va des pôles à l'équateur ; de même, elle s'affaiblit avec l'altitude ; un poids de 10 kilogrammes perd *un* gramme si on le monte à la Tour Eiffel. Le *poids vrai, absolu,* comme disent les physiciens, nous est donné par un peson à ressort (fig. 36). Attachez un kilogramme de viande à votre peson et éloignez-vous de la Terre; à un moment donné, vous constaterez que votre kilog de

viande ne pèsera plus rien. Et cependant votre viande ne s'est pas évaporée ! Il y a donc poids et poids.

A tout prendre, les physiciens ont raison : demander si l'on peut peser la Terre devient une absurdité, un non-sens, puisque c'est la Terre qui est la cause de la pesanteur, mais on peut tourner la difficulté et voici comment.

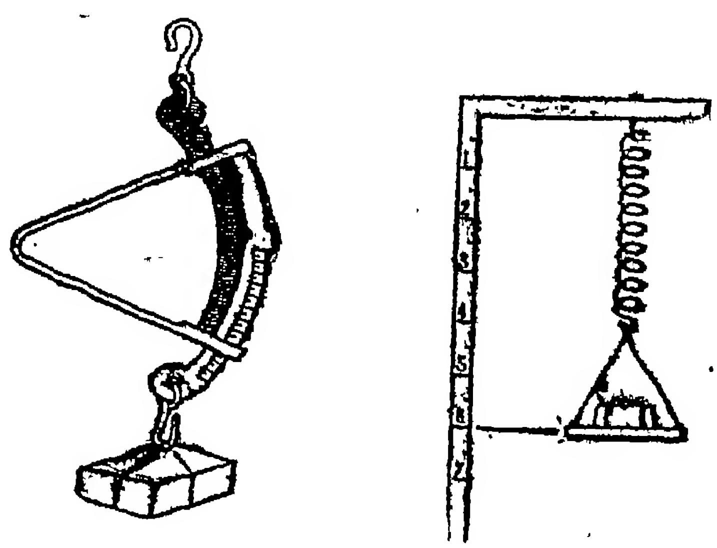


Fig. 36. — Deux formes de peson donnant le *poids absolu.*

Supposez que j'emporte mon kilog de viande sur la planète Mars, où la pesanteur est moins forte que sur la Terre. Son *poids absolu* sera tellement diminué que mon peson à ressort ne m'accusera que 380 grammes. Aurais-je donc perdu 620 grammes en cours de route ? — Pas du tout et je puis m'en assurer si j'ai emporté avec moi une balance avec des poids marqués. Si le morceau de viande a perdu 620 grammes en apparence, mon poids, marqué 1 kg., en a fait tout autant. Viande et poids marqué se font encore équilibre.

La *masse* étant la quantité de matière que renferme un corps, je constate immédiatement que la balance peut mesurer la masse, quel que soit l'endroit où s'effectue l'opération. Ainsi, vous le voyez, *si le*

peson mesure le poids, la balance mesure la masse d'un corps, en comparant cette masse à une masse prise pour unité — le kilogramme-masse, par exemple, qui est la masse d'un décimètre cube d'eau pure à son maximum de densité.

Maintenant, tout devient clair et notre langage peut être compris : Supposons que nous puissions « brouiller » tous les éléments qui composent notre globe terrestre, comme on mélange, après trituration, des substances différentes. Nous pouvons imaginer qu'après cette opération, nous prenions un décimètre cube de cette mixture pour la porter sur l'un des plateaux d'une balance ; des poids marqués, mis dans l'autre plateau, nous indiqueront le *poids relatif* ou la *masse* de ce décimètre cube. Il nous suffira ensuite de multiplier le nombre obtenu, qui n'est autre que la densité moyenne de la Terre, par le volume du Globe (exprimé en décimètres cubes) pour connaître la masse de notre planète. Après un tel exploit, il me semble que nous aurons tout de même le droit de nous vanter d'avoir *pesé* la Terre.

Maintenant, je pense que vous n'êtes pas pleinement satisfait et que vous brûlez d'envie de connaître la façon dont s'y sont pris les physiciens pour arriver à la solution d'un problème en apparence bien compliqué. Je vais essayer de vous en donner au moins une idée exacte sans avoir recours à des formules algébriques.

Le procédé le plus pratique consiste à suspendre par un fil très fin, et sans poids appréciable, une petite boule métallique, puis à approcher de cette dernière une très grosse masse de plomb. La petite boule, qui forme *pendule*, obéissant à l'attraction de la lourde masse, notre fil à plomb déviera quelque peu de la verticale. En mesurant soigneusement cette déviation, on pourra comparer la masse de la Terre à celle de la grosse boule. Voilà le principe de la méthode qui a été employée par M. Boys, un éminent physicien anglais. La tâche était hérissée de difficultés. Il fallut un fil très fin et très résistant ; après bien des essais, on parvint à étirer des fils de quartz à l'aide d'une flèche que lançait un arc bandé fortement. Pour ne pas fausser l'expérience, on établit le pendule au fond d'une longue galerie souterraine et on l'observa de loin avec une lunette. Afin d'éviter les courants d'air, on dut enfermer le petit pendule dans une cage vitrée, mais aucune fabrique au monde ne put fournir des verres à faces parallèles et, après bien des insuccès, M. Boys eut l'idée de substituer aux verres ordinaires, des vitres en mica. Bref, le travail sous terre dura trois années...

Ceci posé, comme disent les géomètres, passons à la démonstration (V. fig. 37). Pour éviter les longs calculs qui vous « embrouilleraient », je supposerai que la Terre est une sphère de 10 kilomètres seulement de rayon (au lieu de 6 371 kilomètres, chiffre exact).

Suspendons la petite boule métallique dont j'ai parlé avec un fil de *un* mètre, soit 100 centimètres. Cette longueur représentera l'attraction due à la Terre. En effet, ce fil empêchant la boule de tomber, figure bien une force égale et contraire à celle de la pesanteur, puisqu'en réalité il l'annule.

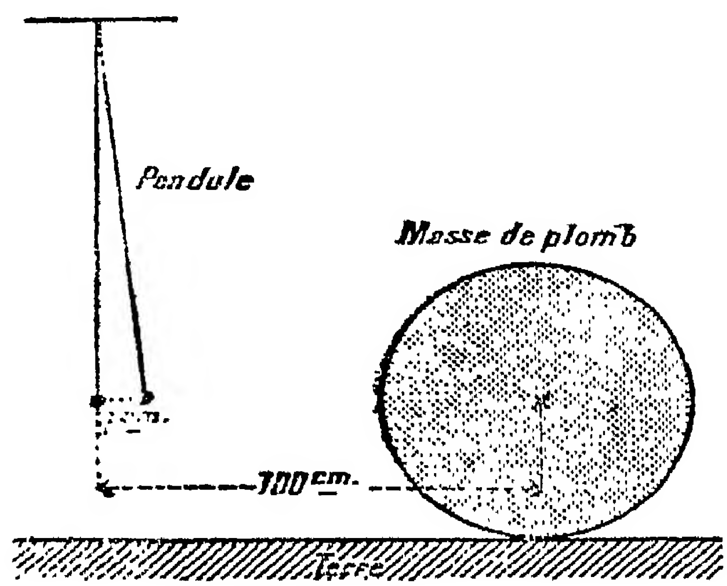


Fig. 37. — Dispositif montrant comment on a *pesé* la Terre.

Maintenant, plaçons non loin de notre pendule une énorme sphère de plomb pesant 2 ou 3 centaines de kilogs. La petite boule du pendule sera aussitôt attirée par la grosse masse. Notons la déviation du pendule et supposons que la petite boule se soit rapprochée de la grosse de 1 centimètre exactement, les centres des deux sphères ayant été mis au début à 100 centimètres de distance.

Nous pouvons conclure immédiatement que l'attraction de la Terre (représentée par 100 centimètres, longueur du fil à plomb) se fait sentir 100 fois plus fortement que celle de la grosse masse de plomb, représentée par 1 centimètre seulement.

Si la force attirante de la Terre, qui est à son centre, était à la même distance de la petite boule du pendule

que le centre de la grosse masse de plomb, nous pourrions en déduire que la Terre offre une masse 100 fois plus forte que celle de la grosse boule de plomb, mais il n'en est pas ainsi. La masse de plomb étant à 1 mètre et le centre de la Terre étant supposé à 10 000 mètres, ce centre est en réalité 10 000 fois plus éloigné du pendule que le centre de la grosse masse.

Rapprochons donc de 10 000 fois le centre de la Terre afin de pouvoir établir une comparaison valable. D'après la loi de Newton, en rapprochant ainsi ce centre de la Terre, sa force attirante devient 10 000 × 10 000 = 100 millions de fois plus forte et comme avant ce déplacement fictif, nous avions déjà constaté qu'elle paraissait 100 fois plus agissante que la masse de plomb, vis-à-vis du pendule, nous voyons finalement qu'en réalité elle attire 100 × 100 millions = 10 milliards de fois plus que cette même masse.

Pesons maintenant très soigneusement la grosse sphère de plomb, nous n'aurons plus qu'à multiplier son poids par 10 milliards pour obtenir le poids de la sphère qui, dans notre problème, figurait la Terre.

Lorsqu'on fait l'expérience, on note très exactement la longueur du pendule, sa déviation (qui est d'ailleurs très faible), le poids de la grosse masse de plomb, et l'on place le centre de la Terre à sa vraie distance en tenant compte de la latitude du lieu où l'on opère.

Par ce procédé, M. Boys a trouvé que la densité

de la Terre était de 5,51 c'est-à-dire qu'un décimètre cube de Terre pesait 5 510 grammes. Multipliant ce nombre par autant de décimètres cubes que contient notre planète, on arrive à démontrer que la Terre offre une masse très voisine de 6 septillions de kilogrammes, nombre qui s'écrit avec un 6 suivi de 24 zéros. Le poids exact de la Terre est de

5 974 000 000 000 000 000 000 000 kilogrammes,

soit 5 974 quintillions de tonnes.

Lorsque M. Boys m'a conté ses tribulations et sa vie d'anachorète au fond de sa galerie souterraine, il ajouta le plus sérieusement du monde que si sa femme le lui eût permis, il aurait volontiers passé encore trois années dans son isolement pour trouver la 3e décimale de la densité de la Terre. Il n'y a donc pas que l'aviation qui puisse susciter des héros !

QUATRIÈME LEÇON

LE SOLEIL ET LES PLANÈTES INFÉRIEURES

Le Soleil est une grosse boule de gaz chauds dont la température, à la surface de l'astre, est voisine de 6500 degrés. Accompagnez-moi sous la coupole de l'observatoire et braquons la lunette sur l'astre du jour. Avec un faible grossissement de 50 fois environ, nous allons pouvoir contempler dans le champ de la lunette la sphère entière du Soleil.

14. Qu'est-ce que le Soleil ?

Mais ici, il nous faut prendre quelques précautions et mettre devant l'oculaire un verre fortement teinté, sous peine de nous brûler instantanément la rétine. La surface brillante présente çà et là des parties relativement sombres : ce sont les *taches* du Soleil (fig. 38). Avec des grossissements plus forts, nous constatons que toute la surface solaire est comme formée de nuages floconneux rappelant nos ciels pommelés (fig. 39). Ces nuages très brillants constituent la *photosphère* (sphère de lumière) et ce sont les endroits où manquent ces nuages qui forment les *taches*. Tout

autour du *noyau* de la tache, vous pouvez voir les nuages dont j'ai parlé s'étirer sous forme de filaments (fig. 40). Les abords d'une tache sont habi-

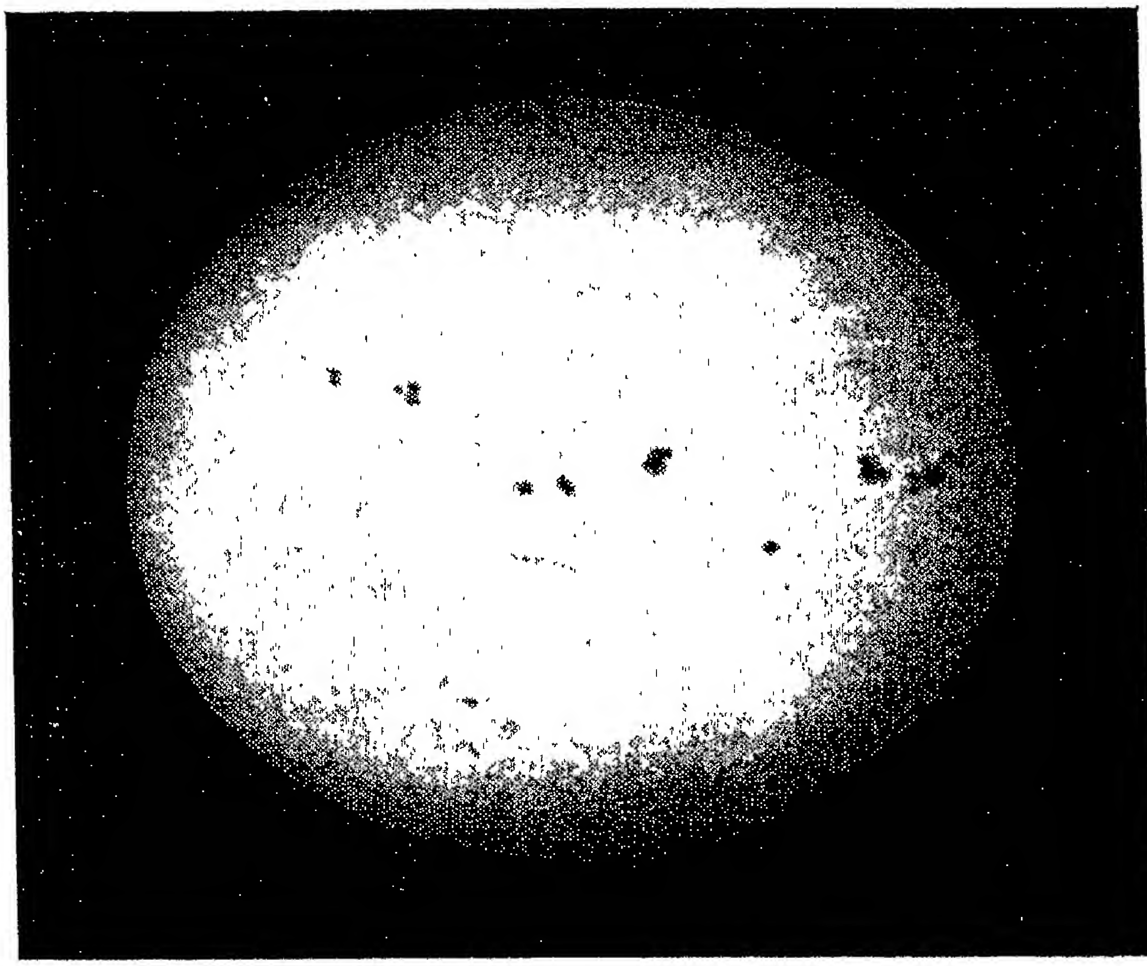


Fig. 38. — Photographie du Soleil montrant les *taches* à la surface de l'astre.

tuellement plus lumineux encore que le reste de la photosphère. On dirait des vagues de feu qui se soulèvent, poussées par des forces intérieures. Et la comparaison semble bien exacte, car dès que ces filaments, qu'on nomme *facules*, arrivent au bord du Soleil, qui les emporte dans sa rotation, ainsi que les taches, le spectroscope nous laisse voir en ces

endroits de véritables éruptions dont quelques-unes atteignent des centaines de mille de kilomètres (fig. 41). Ces phénomènes éruptifs ont reçu le nom

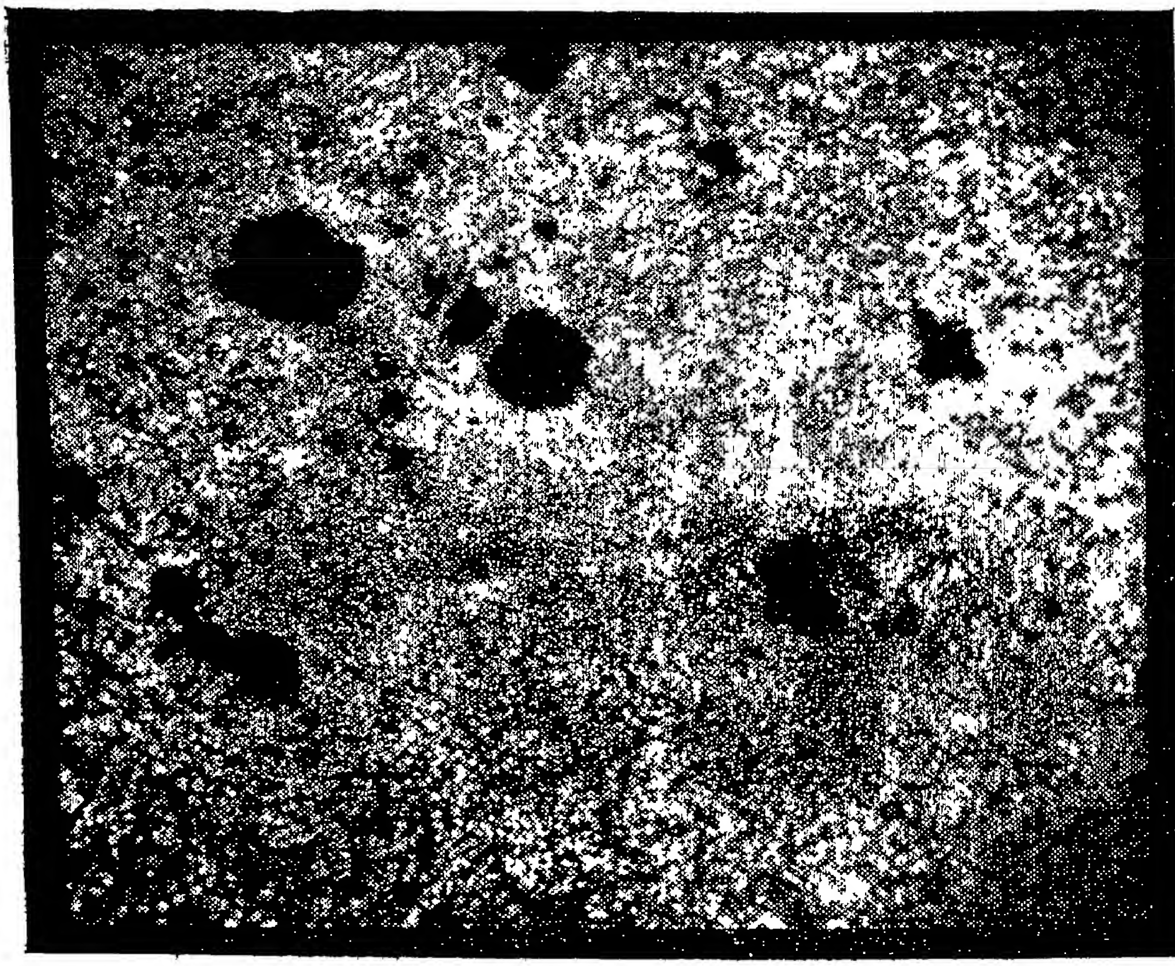


Fig. 39. — Nuages brillants de la photosphère d'après une photographie.

de *protubérances* et a couche où elles se produisent s'appelle *chromosphère* (sphère de couleur), car cette enveloppe du Soleil est d'une belle teinte rosée, bien visible pendant les éclipses totales de Soleil.

J'ai fait allusion plus haut à la rotation du Soleil. Cette sphère énorme tourne en effet sur elle-même, dans le sens direct (comme la Terre) en 25 jours envi-

ron, mais son axe de rotation est penché de 5 degrés à peu près sur une perpendiculaire au plan dans

Fig. 40. — Tache solaire montrant les filaments de la pénombre (dessin de l'Abbé MOREUX).

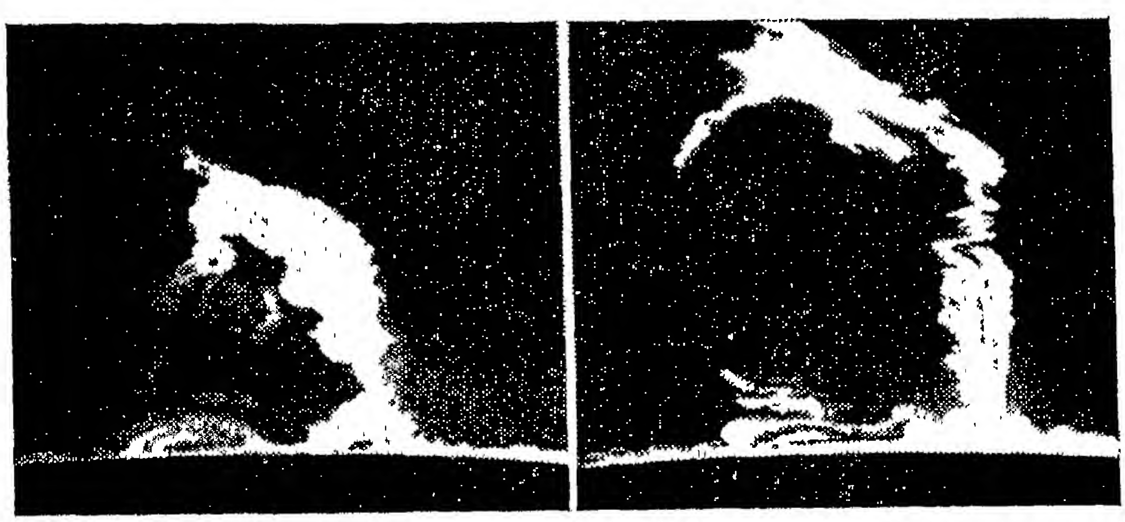


Fig. 41. — Deux phases d'une même éruption solaire. La protubérance de droite mesure 400 000 kilom. de hauteur.

lequel nous effectuons notre trajectoire, le fameux plan représenté par le billard dont nous avons parlé, lors de notre première leçon, et que les astronomes

appellent *plan de l'écliptique*, ou simplement *écliptique*.

Les taches, qui ont démontré aux contemporains de Galilée, c'est-à-dire vers 1610, la rotation du

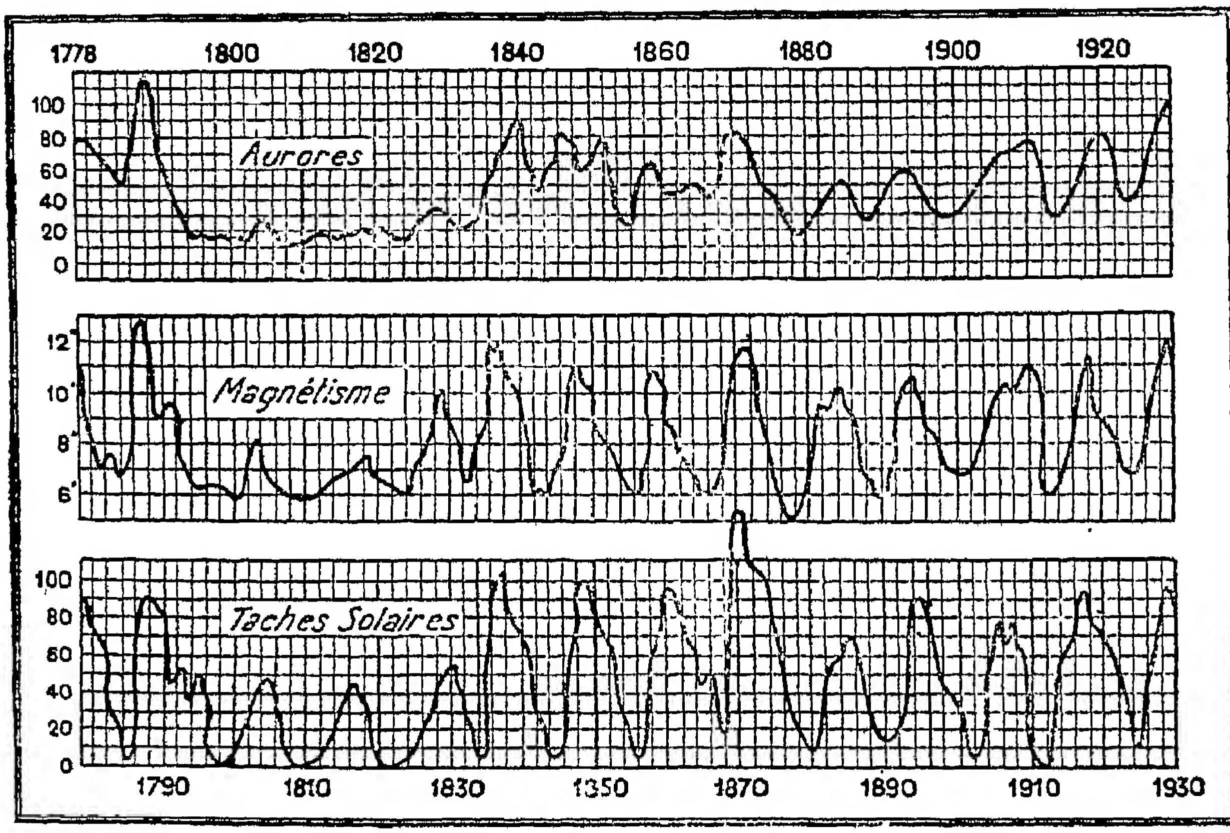


Fig. 42. — Courbes des taches solaires depuis 1778, montrant leur relation avec les variations des aurores et du magnétisme.

Soleil, sont des phénomènes temporaires, exactement comme nos cyclones dans l'atmosphère terrestre. Leur nombre subit, suivant certaines époques, de nombreuses fluctuations. En général, elles obéissent à un cycle de 11 années environ, au cours duquel la chaleur du Soleil augmente, ainsi que les protubérances et les taches. Il est hautement probable que notre climatologie terrestre dépend entièrement de ces fluctuations périodiques qui agissent plus ou

moins directement sur le magnétisme terrestre, donc sur la boussole, sur l'apparition des aurores polaires, sur l'évaporation des océans, et par conséquent sur les chutes consécutives de pluie, etc., etc. (V. fig. 42).

Je m'arrête dans cette énumération, car il faudrait tout un volume pour traiter semblable sujet.

15. Comment on mesure la distance du Soleil.

Nous avons dit dans la dernière Leçon que depuis Képler, les astronomes avaient pu tracer d'une façon exacte le plan du Système solaire, mais qu'il leur manquait l'échelle à laquelle ce plan était dressé. Aussi, ont-ils orienté tous leurs efforts vers l'acquisition de la donnée qui leur était indispensable : une unité de mesure pour apprécier les distances dans notre Système solaire.

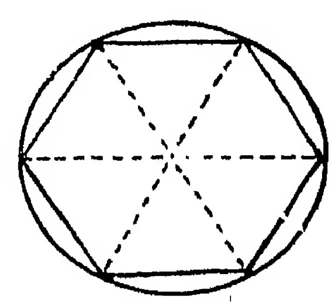


Fig. 43. — Hexagone régulier inscrit dans une circonférence.

Cette *unité*, vous l'avez pressenti, c'est *la distance de la Terre au Soleil.*

Comment ont-ils pu la calculer ? C'est ce que nous allons voir, après un rappel préalable de quelques notions de Géométrie.

Divisons une circonférence en 6 parties égales (fig. 43) ; chaque arc obtenu comptera 60 degrés, et en joignant les points de division par des droites, nous construisons un hexagone régulier (polygone à 6 côtés), dont chaque côté sera égal au

rayon de la circonférence (1). Supposez maintenant que nous ayons effectué l'opération sur l'équateur de la Terre et que nous placions deux observateurs aux extrémités d'un des côtés de l'hexagone. Il suffira pour réaliser cette condition que les deux observateurs soient à 60 degrés de longitude l'un de l'autre. Nos deux astronomes sont alors séparés par une distance égale à *un* rayon de la Terre. Voilà une base toute trouvée pour un long triangle dont le sommet sera le centre du disque du Soleil. (V. fig. 44).

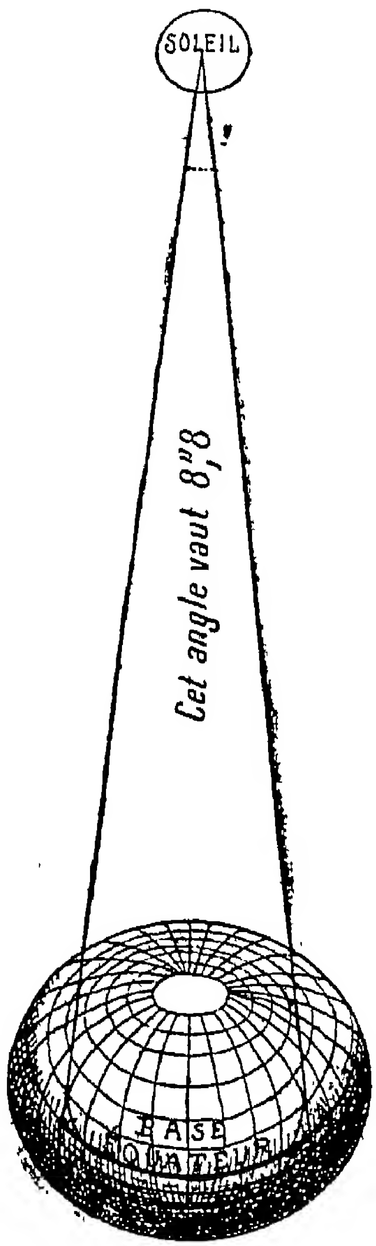


Fig. 44. — Principe de la mesure de la distance du Soleil.

Supposez donc qu'au même moment nos deux observateurs visent le centre de l'astre, ils pourront dès lors déterminer les deux angles à la base du triangle, et comme dans un triangle quelconque la somme des trois angles égale toujours 180 degrés, il leur suffira de retrancher la somme des deux angles à la base, de 180 degrés, pour connaître la valeur du 3e angle, l'angle au sommet du triangle.

(1) Voir *Pour comprendre la Géométrie plane*, n° 190.

Le Soleil étant très éloigné, vous devinez bien que cet angle au sommet doit être extrêmement faible. En réalité, il ne vaut même pas une minute d'angle, mais seulement 8 secondes et 8 dixièmes.

Ainsi, un observateur placé au centre du Soleil apercevrait la Terre sous un demi-diamètre apparent de 9 secondes à peine. Ce demi-diamètre apparent constitue ce que les astronomes nomment la *parallaxe* du Soleil. Maintenant, ce ne sera plus qu'un jeu de calculer la distance du Soleil à la Terre.

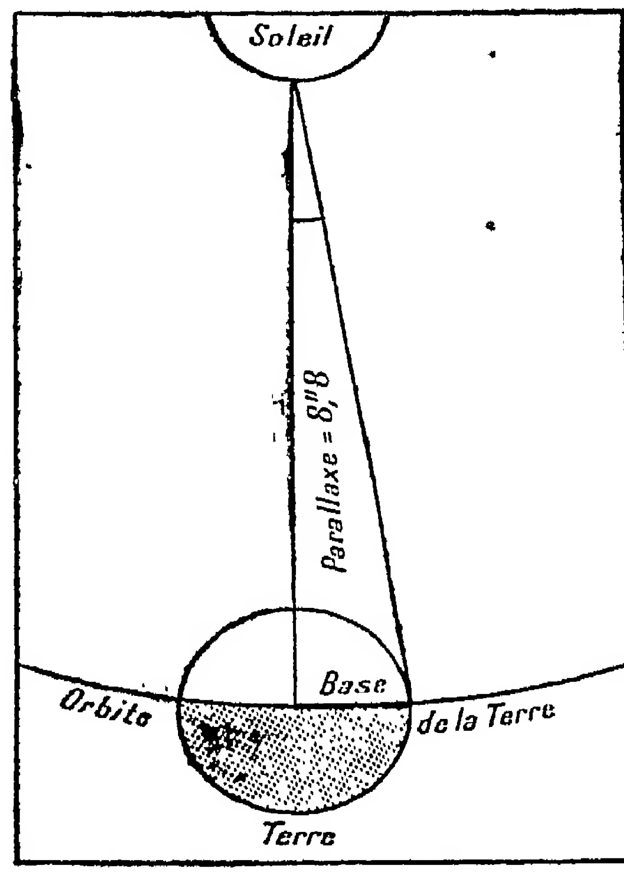


Fig. 44 *bis*. — Mesure de la distance du Soleil à la Terre, à l'aide de la *parallaxe* du Soleil.

Reportez-vous par la pensée au centre du Soleil. La Terre, en supposant son orbite circulaire, — ce qui n'est pas loin de la réalité — décrit en une année une circonférence entière ou 360 degrés. Or autant de fois 8'',8 seront contenues dans 360 degrés ou 1 296 000 secondes, autant de fois la circonférence décrite par la Terre contiendra de demi-diamètres (ou de rayons) du globe terrestre (fig. 44 *bis*). Faites

la division et vous verrez que notre orbite vaut :

147 272 fois le rayon équatorial de la Terre.

Soit 147 272 × 6 378 388 m. = 939 437 959 kilomètres (longueur de l'orbite terrestre).

Puisque la circonférence décrite par la Terre vaut 939 437 959 km., son rayon (distance de la Terre au Soleil) s'obtiendra en divisant ce nombre par 2 fois 3, 1416. Faites l'opération et vous trouverez finalement que cette distance a pour valeur : 149 515 000 kilomètres.

Ce chiffre ne peut être qu'approximatif, puisque dans la réalité notre orbite est un peu elliptique et que, d'autre part, pour ne pas compliquer les opérations, j'ai adopté comme parallaxe la valeur de 8″,8 alors qu'elle est de 8″,806 d'après les dernières mesures. En tenant compte de ces particularités on trouve que :

La distance du Soleil à la Terre est de 149 400 000 *kilomètres* en nombres ronds. Voilà donc fixée la longueur qui constitue pour nous l'*unité astronomique*. Munis de cette donnée, nous pouvons immédiatement connaître les distances de toutes les planètes. Consultez par exemple, le *Tableau des éléments des planètes* (n° 44 *bis*), vous voyez que Jupiter est à 5,2 unités astronomiques du Soleil (la distance de la Terre étant 1). Vous désirez calculer la distance de Jupiter au Soleil, multipliez 149 400 000 km. par 5,2 et vous trouverez 776 880 000 kilomètres.

En nombres ronds, Jupiter est à 777 millions de kilomètres du Soleil.

16. Dimensions du Soleil.

Si une Terre semblable à la nôtre était placée à côté du Soleil, il est évident qu'un observateur terrestre verrait son diamètre apparent sous un angle de 2 fois 8″,806

ou $$8'',806 \times 2 = 17'',612$$

alors que le diamètre apparent du Soleil nous apparaît sous un angle de 32' ou 1920''. Donc, autant de fois 17″,612 seront contenues dans 1920'', autant de fois le diamètre du Soleil vaudra celui de la Terre. Effectuez la division et vous trouverez 109 au quotient.

Le *diamètre du Soleil* vaut donc 109 fois celui de la Terre, qui égale lui-même 12 756 km. 776 ;
ou 12 756,776 × 109 = 1 390 500 km. (*Diam. du Soleil*).
Mais les surfaces d'après la *Géométrie plane* sont entre elles comme les carrés des rayons, et les volumes comme les cubes des mêmes rayons.

La surface et le volume de la Terre étant 1, on a :

Surface du Soleil : 109 au carré = 11 880 fois celle de la Terre.

Volume du Soleil : 109 au cube = 1 295 000 fois celui de la Terre,

C'est-à-dire que le *volume du Soleil* vaut :

1 300 000 fois *le volume de la Terre*, en chiffres ronds.

17. On voit que le Soleil est une boule énorme. Si, reprenant la comparaison du billard, nous placions en son milieu une sphère de 11 centimètres de dia-

mètre environ, pour garder les proportions, il faudrait représenter notre petite Terre par un simple

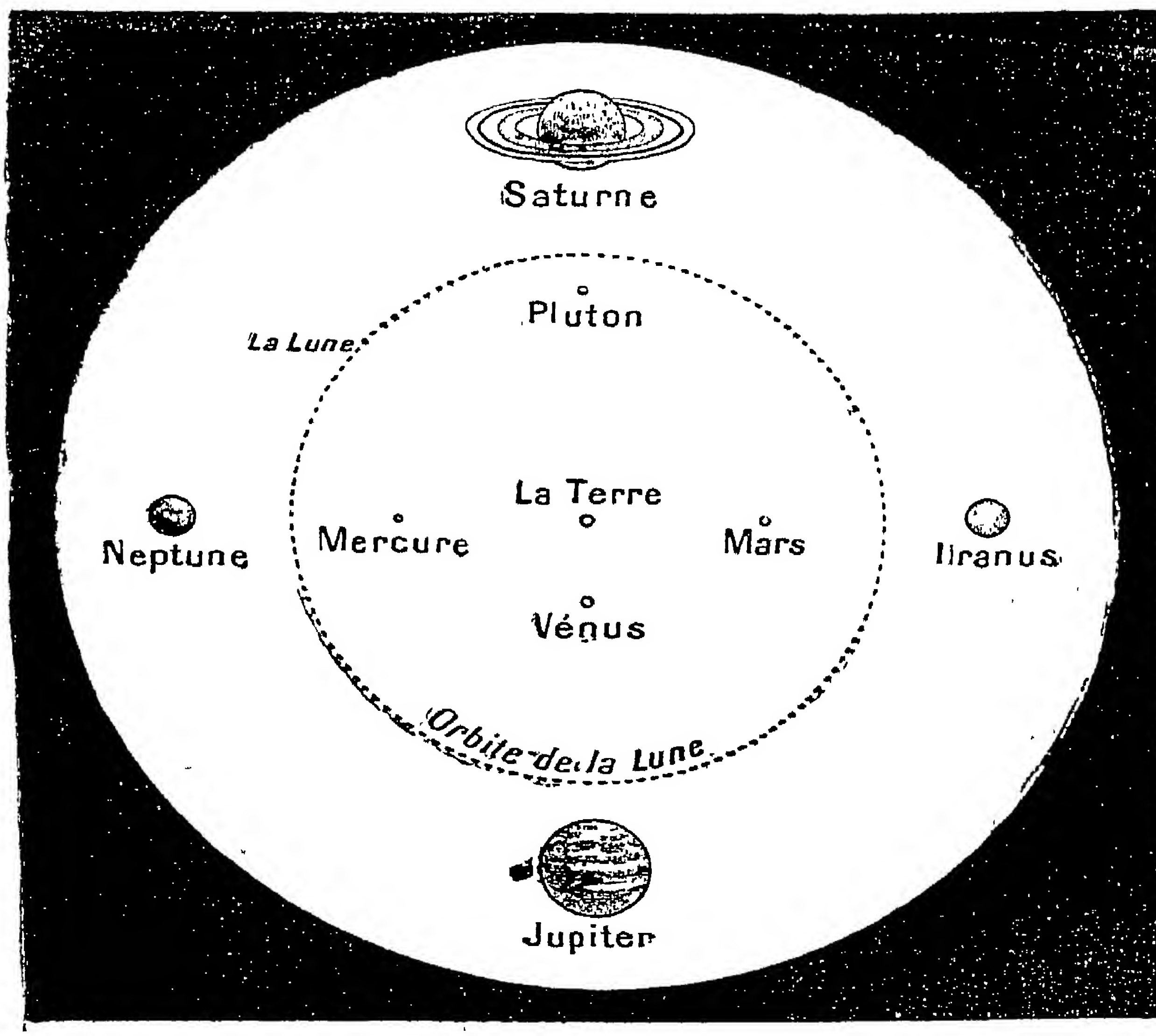


Fig. 45. — Dimensions comparées du Soleil et des Planètes. (Le grand cercle blanc représente le Soleil).

grain de plomb de 1 millim tre de diamètre, que nous éloignerions de la grosse boule à une distance de 12 mètres environ.

Autre image pour bien faire comprendre la grosseur du Soleil : Plaçons notre planète au centre du

Soleil, avec son satellite, la Lune, qui est à la distance de 384 000 kilomètres. L'astre des nuits tournera entièrement dans l'intérieur de l'énorme fournaise et la surface solaire dépassera son orbite de plus de 300 000 kilomètres (V. le diamètre du Soleil au n° précédent et fig. 45).

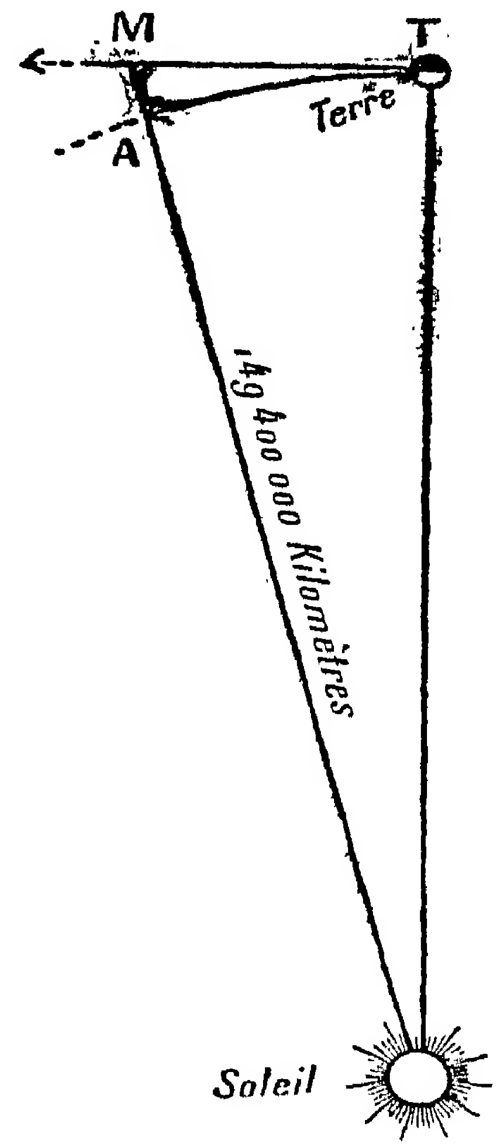


Fig. 46. — Mesure de la masse du Soleil.

18. Comment on peut « peser » le Soleil.

Voyons maintenant, comment, avec les données que nous avons recueillies au cours de ces modestes Leçons, nous pouvons arriver à *peser* le Soleil, c'est-à- dire à déterminer la valeur de sa masse. Adressons-nous encore aux lois de Newton sur la gravitation universelle.

Nous allons reprendre la figure 32 qui nous a servi à propos de l'attraction que la Terre exerce sur la Lune. Mais cette fois, nous allons considérer l'orbite de la Terre et calculer de combien le Soleil rapproche la Terre, en une seconde, du point où elle serait dans l'espace si, libérée de l'attraction solaire, elle filait par la tangente. Nous avons vu

que, tout compte fait, pour calculer cet écart (M A dans la fig. 46), il suffit de diviser le *chemin* que parcourt la Terre en une seconde, *élevé au carré*, par le diamètre de l'orbite terrestre, donc 2 fois la distance de la Terre au Soleil.

Pour parcourir son orbite, dont la longueur est de 939 437 959 km. (V. au nº 15) et revenir à son point de départ, la Terre emploie une année sidérale, ou 365 jours et 22 149 secondes, soit en tout 31 558 149 secondes.

Par une simple division, nous voyons que la Terre avance de 29 760 mètres en une seconde, soit de 30 kilomètres, en chiffres ronds.

30 kilom. au carré = 900 kil. et c'est ce nombre, nous l'avons dit plus haut, qu'il faut maintenant diviser par le diamètre de l'orbite terrestre, soit 2 fois 149 400 000 km. = 298 800 000 kilomètres. Mettons 300 millions de kilomètres en chiffres ronds. Effectuant l'opération, nous trouvons que la chute de la Terre vers le Soleil est de 3 millimètres par seconde. Comparons maintenant la valeur de cette attraction due au Soleil avec celle qu'exercerait la Terre sur un corps placé à cette énorme distance de 149 400 000 kil., c'est-à-dire à 23 450 fois le rayon de la Terre.

A sa surface, donc à 1 rayon de distance de son centre, la Terre manifeste une force attirante qui provoque une chute de $4^{m},90$ pendant la 1^{re} seconde ; à une distance 23 450 fois plus grande, sa force atti-

rante serait 23 450 × 23 450 = 549 902 500 fois plus faible, puisqu'elle diminue comme le carré de la distance. Divisons donc $4^{m},90$ par 549 902 500 ; nous trouvons 9 millionièmes de millimètre.

Cette fois, nous pouvons comparer : Tandis que le Soleil provoque une chute de 3 millimètres, la Terre, dans le même temps et à la même distance, provoquerait une chute de 9 millionièmes de millimètre seulement.

En divisant 3 par 0,000 009 nous saurons donc de combien de fois l'attraction du Soleil l'emporte sur celle de la Terre. Nous trouvons au quotient 333 000.

Comme les attractions sont proportionnelles aux masses, ce résultat nous indique que la *masse du Soleil vaut* 333 000 *fois celle de la Terre.*

Mais cette nouvelle conquête nous apprend encore autre chose : puisque le Soleil vaut 1 300 000 Terres en volume, et qu'il pèse seulement 333 000 fois plus, il est évident qu'un décimètre cube de matière solaire est moins lourd qu'un décimètre cube de matière terrestre. Le calcul est facile à faire, puisque nous connaissons la masse et le volume du Soleil. Divisant l'une par l'autre, nous voyons en effet que la densité du Soleil est de 1,41 au lieu de 5,51 que nous avons trouvée pour la Terre.

Ainsi, un décimètre cube de Soleil « pèse » 1410 grammes seulement, alors qu'un décimètre cube de Terre pèse 5 510 grammes. Cette sensible différence nous avertit que le Soleil est tout entier gazeux, ce

qui n'offre d'ailleurs rien d'étonnant, étant donné les hautes températures qui y règnent. A l'intérieur de l'ardente fournaise, les pressions doivent être énormes et c'est ce qui nous explique que, malgré sa constitution gazeuse, le Soleil nous offre cependant une densité supérieure à celle de l'eau.

19. Intensité de la pesanteur à la surface du Soleil.

Nous pouvons maintenant calculer l'intensité de la pesanteur à la surface du Soleil et c'est encore les lois de NEWTON qui vont nous permettre de résoudre ce nouveau problème.

Puisque les attractions sont proportionnelles aux masses, le Soleil doit attirer les corps 333 000 fois plus que la Terre, mais il ne faudrait pas conclure si tôt qu'*un* kilogramme au peson à ressort accuserait sur le Soleil un poids de 333 000 kilogs.

Rappelons-nous en effet que toute la cause de l'attraction doit être rapportée au *centre* de la masse attirante. Sans doute, le centre du Soleil attire 333 000 fois plus que celui de notre Globe, mais ce centre est 109 fois plus éloigné de la surface solaire ; l'attraction diminuant comme le carré de la distance, pour connaître sa vraie valeur, il faut donc diviser 333 000 par 109 au carré, ou : 109 × 109 = 11881. Nous trouvons 28 au quotient.

Donc, à la surface du Soleil, la pesanteur est 28 *fois plus forte* que sur la Terre. Un poids de 10 kilogs sur notre planète accuserait là-bas 280 kilogs sur

un peson et un homme ne pourrait le soulever.

Sur le Soleil, un corps, dans sa première seconde de chute, parcourrait 28 fois plus d'espace que chez nous, soit $4^{m},90 \times 28 = 137$ mètres.

20. Comment on calcule la masse des planètes.

Ce n'est pas sans raison qu'on a donné l'épithète d'universelle à la gravitation. Les lois de NEWTON s'appliquent, je l'ai déjà dit, à tous les corps de l'Univers. Dès qu'une planète possède un satellite, il est toujours possible de déterminer sa masse par rapport à celle du Soleil. Le procédé est calqué sur ceux que nous avons déjà employés pour la Lune et le Soleil, mais il ne réussit pleinement que si la masse du satellite est très petite, comparée à celle de sa planète ; car, dans ce cas, ce satellite exerce une attraction si faible sur elle qu'on peut la négliger sans inconvénient.

Soit à déterminer la masse de Jupiter, nous calculerons d'abord de combien Jupiter fait tomber, en une seconde, un de ses satellites, le 6e par exemple, qui est minuscule et dont nous connaissons parfaitement la distance à Jupiter, ainsi que le temps de sa révolution.

Nous chercherons ensuite de combien Jupiter tombe sur le Soleil en une seconde ; nous ramènerons ces deux chutes calculées à ce qu'elles seraient en supposant les distances égales dans les deux cas. Nous verrons alors de combien la force attractive du

Soleil l'emporte sur celle de Jupiter. Le rapport sera le même pour les masses, puisque celles-ci sont proportionnelles aux attractions et nous constaterons ainsi que la masse de Jupiter est 1 000 fois plus petite environ que celle du Soleil.

Pour illustrer la méthode à l'aide d'un cas plus concret et qui maintenant nous est familier, appliquons le procédé à la Terre et à la Lune. Bien que la masse de la Lune soit trop forte par rapport à celle de notre planète pour se prêter à une recherche de précision, l'exemple vous fera mieux saisir le mécanisme du procédé. Notez qu'ici, il n'est plus question de $4^{m},90$ que nous sommes censés ignorer, nous ne connaissons que la distance du Soleil à la Terre, celle de la Terre à la Lune, et les temps de révolution des deux astres autour de leur centre attractif.

Nous avons déjà vu que la Terre infléchit la courbe de la Lune de $1^{mm},36$ par seconde, tandis que le Soleil infléchit la courbe de la Terre de 3^{mm} dans le même temps. Ramenons ces chiffres à ce qu'ils seraient si les distances Terre-Lune et Terre-Soleil étaient égales.

Puisque le Soleil est 370 fois plus éloigné que la Lune, mettons notre satellite 370 fois plus loin. A cette distance, l'attraction terrestre sera $370 \times 370 = 136\,900$ fois plus faible. La chute sera donc de $1^{mm},36$ divisé par 136 900. On trouve au quotient 9 millionièmes de millimètre, alors qu'à la même distance le Soleil fait tomber la Terre de 3 millimètres dans

le même temps. C'est exactement le résultat que nous avions déjà obtenu au nº 18 en nous basant sur le fait qu'un corps tombe sur la Terre de $4^m,90$ dans la première seconde de chute. Notre conclusion ne saurait donc être différente.

Divisant 3 par 0,000 009 nous trouverons toujours 333 000. A la réflexion, cela n'a rien qui puisse nous étonner, puisque les lois de la gravitation sont les mêmes que celles de la pesanteur.

Lorsqu'une planète est dépourvue de satellites, comme Mercure et Vénus, par exemple, on calcule sa masse en se basant sur les attractions que les autres planètes exercent sur elles. Ces attractions se manifestent plus particulièrement sur l'orbite qui se déforme plus ou moins en telle ou telle région. Le calcul de ces *perturbations* est un des problèmes les plus difficiles de la Mécanique céleste et il faut y employer toutes les ressources de l'Analyse mathématique. Nous verrons un peu plus loin que c'est par le calcul des perturbations qu'éprouvait Uranus que fut découverte la planète Neptune.

Notre programme est maintenant tout tracé. Nous allons passer sommairement en revue les planètes qui gravitent autour du Soleil et dont la Terre fait partie.

La planète Mercure.

21. Nous ne connaissons que deux planètes *inférieures*, c'est-à-dire qui circulent entre le Soleil et la Terre ; Ce sont *Mercure* et *Vénus*.

C'est à une distance de 58 millions de kilomètres du Soleil que nous trouvons *Mercure*, qui opère sa révolution en 88 jours, sur une orbite très excentrée et inclinée de 7 degrés sur le plan de l'écliptique.

Fgi. 47. — Vue télescopique de Mercure, d'après l'Abbé MOREUX.

Monde minuscule, 20 fois plus petit que la Terre, Mercure, perdu dans les feux du Soleil est assez difficile à observer. A peine, avec de forts instruments, apercevons-nous à sa surface quelques taches vagues et fugitives. Aussi sommes-nous dans l'ignorance complète de sa durée de rotation, que SCHIAPARELLI (1) estimait égale à celle de sa révolution autour du Soleil, c'est-à-dire à 88 jours (fig. 47).

En raison de sa proximité du Soleil, Mercure reçoit de l'astre central 7 fois plus de chaleur que la Terre. D'après des évaluations faites à l'aide de piles thermo-électriques microscopiques, la surface de Mercure doit subir des températures même supérieures à 200 degrés centigrades et d'autant plus élevées que la planète n'a pas d'atmosphère.

Le disque de Mercure nous apparaît, au cours de la révolution de la planète, sous les aspects divers que nous présente la Lune, c'est-à-dire avec des

(1) SCHIAPARELLI (1835-1910), fut directeur de l'Observatoire de Milan.

phases bien visibles dans de faibles instruments. Le diamètre de la planète n'excède pas 4 500 kilomètres et sa *masse*, assez difficile à déterminer, vaut à peu près 1/18 de celle de la Terre. Mercure n'a pas de satellite.

La planète Vénus.

Fig. 48. — Une phase de Vénus, d'après Schiaparelli.

22. En nous éloignant à 108 millions de kilomètres du Soleil, nous rencontrons *Vénus*, réplique de la Terre. Son diamètre n'est en effet que de 500 kilomètres plus faible que le nôtre. Une couche nuageuse nous dérobe constamment sa surface, si bien que nous ne connaissons rien de sa durée de rotation. On a prétendu autrefois que celle-ci doit être égale à sa durée de révolution, qui est de 225 jours, mais l'hypothèse paraît bien invraisemblable (fig. 48).

L'atmosphère de Vénus est un peu plus faible que la nôtre. Les observations spectroscopiques y décèlent une toute petite quantité de vapeur d'eau et d'oxygène ; par contre, l'acide carbonique y serait très abondant.

La chaleur que lui envoie le Soleil est 4 fois plus forte que celle que nous en recevons. Si la rotation lente de 225 jours était confirmée, cela prouverait

que la planète présente toujours le même hémisphère au Soleil. Cet hémisphère supporterait donc des chaleurs excessives, tandis que l'hémisphère opposé et obscur serait complètement glacé.

Vénus nous offre des phases, comme Mercure,

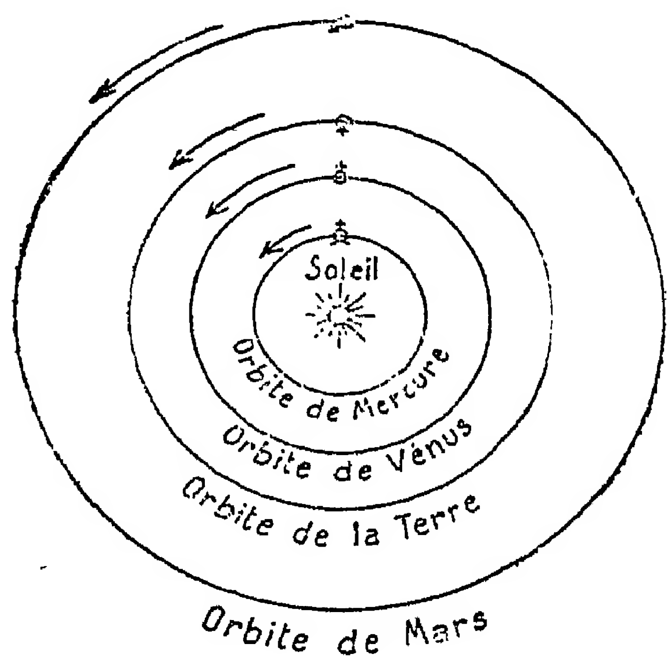


Fig. 49. — Orbites bes planètes les plus rapprochés du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars.

suivant la position qu'elle occupe par rapport au Soleil et à la Terre. Nous donnerons l'explication de ces aspects changeants à propos des phases de la Lune. Des deux côtés, le mécanisme est le même.

La masse de Vénus est les 9 /10 de celle de la Terre et sa densité (5,0) est à peu près la même que celle de notre planète, un peu plus faible que celle de Mercure qui est de 6,2.

Vénus n'a pas de satellite.

CINQUIÈME LEÇON

NOTRE PLANÈTE, LA TERRE.
LA LUNE, LES ÉCLIPSES

En nous éloignant du Soleil, après Vénus, nous rencontrons la Terre qui gravite à 149 400 000 kilomètres de l'astre central. Nous avons déjà étudié le globe terrestre dans la seconde Leçon. Maintenant, nous allons considérer la Terre en tant que planète du Système solaire.

23. Les jours, les heures, les cadrans solaires.

La Terre étant sphérique, tous les points de sa surface ne peuvent être éclairés à la fois. Tandis qu'une moitié est exposée à la lumière, l'autre est plongée dans l'ombre. Lorsque le mouvement de rotation du Globe amène un demi-méridien en face du Soleil, il est *midi vrai* pour tous les endroits situés sur ce demi-méridien. Sur le demi-méridien opposé, il est *minuit vrai.* Pour les demi-méridiens éloignés de 90 degrés des endroits où il est midi, le Soleil se lève ou se couche. Les autres régions ont des heures intermédiaires (V. fig. 50).

Tel est le principe sur lequel repose la construction

des *cadrans solaires*. Prenez un cercle en carton sur lequel vous tracerez des rayons distants de 15 degrés chacun, puis plantez au beau milieu une longue aiguille perpendiculaire au carton ; si maintenant vous dirigez l'aiguille vers le pôle céleste, celle-ci,

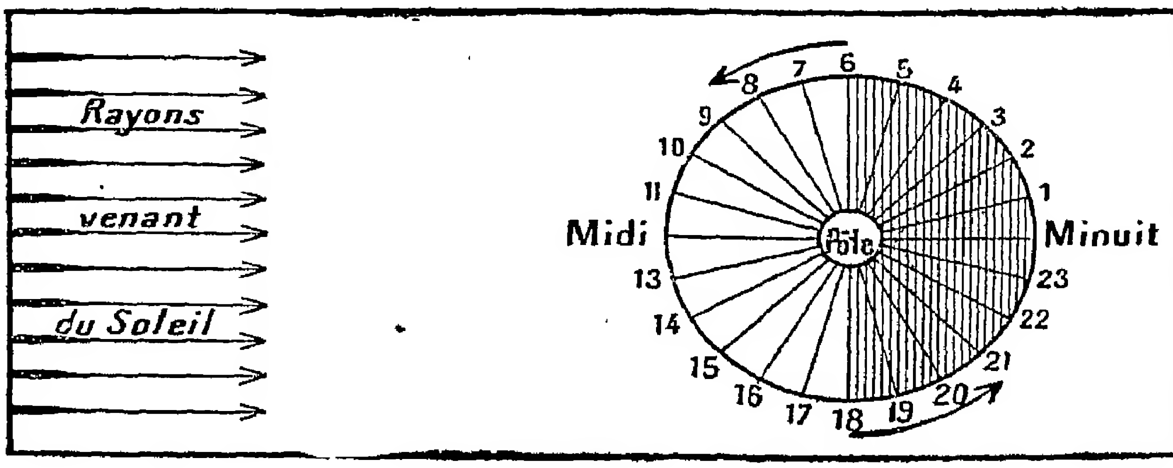


Fig. 50. — Figure donnant l explication des *heures* pour les différents points de la Terre.

qui se nomme *style* dans un cadran solaire, figurera l'axe de la Terre ou du monde, tandis que votre carton représentera l'équateur céleste, prolongement de l'équateur terrestre (V. fig. 51).

Comme la Terre tourne en 24 heures, votre cadran tournera de même avec elle et l'ombre du *style*, donnée par le Soleil, marquera évidemment les heures solaires sur votre cadran qui est dit *équatorial* (fig. 51).

J'ai énoncé plus haut que le passage du Soleil en face d'un demi-méridien indique le *midi vrai*. Nous en pouvons dire autant des cadrans solaires qui nous fournissent les heures *vraies* par l'ombre du

style. Eh bien, ce midi vrai et ces heures vraies ne peuvent régler nos horloges sans qu'on fasse intervenir une correction et vous allez en saisir le motif.

En raison de la trajectoire elliptique que nous décrivons autour du Soleil, notre planète, soumise

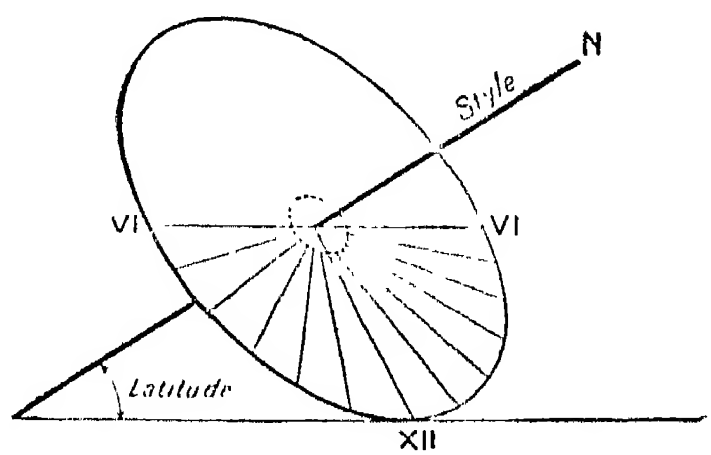


Fig. 51. — Principe du Cadran solaire dit *équatorial.*

à la *loi des aires,* avance avec des vitesses variables, tandis que se poursuit régulièrement sa rotation. Les jours solaires ne peuvent donc être tous égaux entre eux au cours de l'année et les midis vrais successifs n'offrent pas des intervalles égaux. Une montre à marche régulière ne pourrait donc pas suivre l'heure indiquée par le Soleil.

Telle est la raison pour laquelle les astronomes ont dû imaginer un *Soleil fictif* qui, lui, passe régulièrement au-dessus de chaque demi-méridien. En d'autres termes, ils se sont arrangés de façon à donner au jour civil une durée qui est *la moyenne* de tous les jours solaires de l'année, et lorsque le Soleil fictif passe en face d'un demi-méridien, on admet qu'il

est *midi moyen* (et non midi vrai) pour tous les points de ce demi-méridien.

C'est ce midi moyen qui règle nos horloges et qui est calculé par l'Observatoire de Paris, puis distribué par T. S. F. à tous les points de la Terre.

Mais ici, il me faut vous fournir un supplément d'information. En raison de la rotation de la Terre, lorsqu'il est midi à Paris, il est 1 heure du soir pour un point situé à 15 degrés de longitude-Est de Paris, 2 heures pour un point situé à 30 degrés de longitude-Est, et ainsi de suite... Car, dans ces lieux différents, le Soleil est déjà passé au-dessus de leur demi-méridien. Par contre, si nous allons en Angleterre, dans l'Atlantique-Ouest, en Amérique, il sera 11 heures, 10 heures, 9 heures, et New-York marquera 7 heures du matin au moment où il sera midi moyen à Paris.

Sur tous ces points, si l'on reçoit l'heure de Paris et si l'on prend l'heure locale à l'aide de la position du Soleil, on pourra, au moyen de l'écart constaté, trouver la longitude du lieu qu'on occupe. Une heure de différence donnera une différence de longitude de 15 degrés par rapport au méridien de Paris ; 2 heures donneront 30 degrés ; 3 heures, 45 degrés, etc. C'est par ce procédé que les capitaines de vaisseau et les explorateurs calculent les longitudes des endroits où ils se trouvent (1).

(1) Si l'on ne reçoit pas l'heure par T.S.F. on peut avoir l'heure de Paris au moyen d'un chronomètre réglé au départ de Paris. Les latitudes s'obtiennent en déterminant la hauteur du pôle (v. n° 7) ou celle du Soleil qui, grâce à des Tables, donne la première.

24. Les conventions horaires.

Autrefois, chaque ville avait son heure locale. Mais les inconvénients apparurent avec la rapidité des communications. Un voyageur devait régler sa montre et la mettre sans cesse à l'heure des pays traversés. Entre Brest et Strasbourg, l'heure locale différait de 49 minutes. On décida donc que, dans chaque Etat, toutes les villes auraient la même heure, celle de la Capitale. Mais ce système est inapplicable à des pays aussi vastes que la Russie ou les Etats-Unis.

Peu à peu, on fut donc amené à une autre convention et en 1883, un Congrès international décida de diviser la Terre en 24 *fuseaux horaires,* à l'intérieur desquels l'heure reste la même. On retarde ou on avance sa montre d'une heure exactement en passant d'un fuseau à l'autre.

Le milieu du 1er fuseau horaire est déterminé par le premier méridien, ou méridien origine, qui passe par Greenwich (V. n° 7) ; il comprend 15 degrés en longitude. La Suisse, l'Allemagne, l'Italie, ont l'heure du 2e fuseau ; l'Europe orientale, celle du 3e fuseau... ; le Japon, celle du 11e ; New-York, l'heure du 19e fuseau, et ainsi de suite.

Par une autre convention, en date du 10 mars 1911, nous avons adopté en France *l'heure de Greenwich,* qui *retarde* de 9 minutes et 21 secondes sur l'heure de Paris, et c'est cette heure anglaise que notre Observatoire national est chargé d'envoyer au monde,

chaque jour, par T. S. F. Dans les Annuaires cette heure est indiquée sous le titre de *Temps moyen de Greenwich* (T. M. G.). C'est en fait notre *heure légale,* celle que doivent marquer nos horloges publiques, celle qui règle nos chemins de fer et même nos montres. Désirez-vous à un moment quelconque posséder cette heure moyenne à une seconde près, il vous suffira de téléphoner à Paris, en demandant *Odéon, 84.00* ; l'horloge parlante de l'Observatoire vous la donnera immédiatement.

25. L'Année, le Calendrier, les Saisons.

Le temps qu'emploie la Terre à opérer sa révolution autour du Soleil se nomme *année sidérale* : celle-ci sert aux astronomes pour comparer le temps des révolutions des planètes et de leurs satellites. Cette durée ne saurait nous servir dans la vie courante, car celle-ci est réglée sur le retour des saisons qui ramènent des phénomènes analogues dans notre climatologie. Or, l'intervalle qui sépare deux commencements consécutifs du Printemps est un peu plus court que l'année sidérale : c'est l'*année tropique,* base de notre Calendrier, et qui vaut :

365 jours moyens, 5 heures, 48 minutes, 45 secondes.

L'écart entre ces deux sortes d'année est de 20 minutes et nous en verrons bientôt la raison.

Le but du *Calendrier* est donc de trouver une année civile composée d'un nombre de jours tel que la fin de l'année tropique et celle de l'année civile

concordent aussi exactement que possible, et il y a là une réelle difficulté.

Si l'on donne à l'année 365 jours, on néglige près de 6 heures. Au bout de 4 ans, l'écart est donc de $4 \times 6 = 24$ heures, soit un jour entier. C'est pour cette raison que l'an 45 av. J.-C., JULES CÉSAR, aidé de SOSIGÈNE, avait créé les années *bissextiles* (1) qui reviennent tous les 4 ans. Ce sont celles dont le millésime est divisible par 4. Ainsi, 1948, 1952, 1956 doivent être bissextiles.

Mais en adoptant cette correction, on assimilait l'année à 365 jours 6 heures, alors qu'elle ne vaut en réalité que 365 jours, 5 h. 48 m. 45 s. L'addition était donc trop forte d'un peu plus de 11 minutes, ce qui donnait 3 jours en 400 ans, 9 jours en 1200 ans, si bien qu'en 1582, on constata que l'équinoxe de printemps avançait de 10 jours sur la date astronomique.

L'erreur était d'autant moins tolérable que c'est l'équinoxe de printemps (supposé toujours le 21 mars) qui règle la fête de Pâques. Aussi, le pape GRÉGOIRE XIII décréta-t-il que le lendemain du 4 octobre 1582 s'appellerait le 15 et non le 5.

L'erreur de 10 jours était réparée, mais afin qu'elle ne pût se renouveler de longtemps, on décida également que toute année commençant un siècle et dont le nombre des centaines n'est pas divisible par 4,

(1) Le mot *bissextile* vient de ce qu'autrefois les Romains doublaient le 23 février, appelé le 6e jour des calendes, de là *bissexto calendas*.

ne serait pas bissextile. D'après cette règle, 1900 n'a pas été bissextile, car 19 n'est pas divisible par 4. Il en sera de même pour 2 100, 2 300, 2 500, etc. Mais l'an 2 000 et l'an 2 400 seront des années bissextiles, parce que 20 et 24 sont divisibles par 4.

En appliquant cette règle très simple, il faudra 4 milliers d'années avant que l'équinoxe de printemps soit décalé d'un jour et demi seulement.

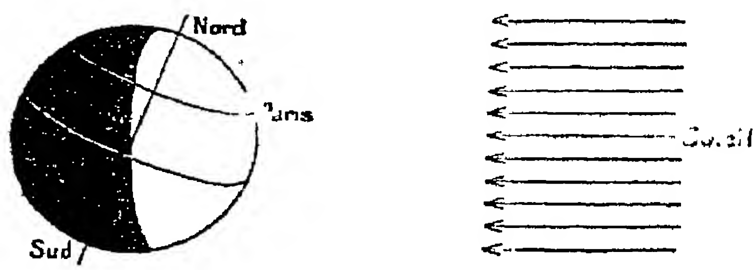


Fig. 52. — Position de la Terre lorsque l'hémisphère Nord est en *été*.

Mais ici, je prévois votre question : « Comment peut-on déterminer d'une façon exacte le commencement du printemps ? »

C'est ce que nous allons voir en étudiant les *Saisons*.

Si la Terre ne tournait pas penchée sur son axe, en termes plus précis, si l'équateur terrestre coïncidait avec l'écliptique, comme la Terre est ronde et que le Soleil en éclaire toujours une moitié, il est bien évident que le *cercle d'illumination* (celui qui forme limite entre la lumière et l'ombre) passerait toujours par les pôles et coïnciderait sans cesse avec un méridien entier. Dans ces conditions, l'équateur terrestre se confondant avec le plan de notre trajectoire, le Soleil ne quitterait pas l'équateur céleste. Mais, nous l'avons vu, il n'en est pas ainsi (Revoir la fig. 7) ; notre équateur terrestre est penché de

23° 1/2 sur l'écliptique, où se trouve toujours le Soleil. Il s'ensuit que, l'axe penché de la Terre restant parallèle à lui-même au cours de sa révolution annuelle, notre planète présente au Soleil tantôt son pôle nord, tantôt son pôle sud, suivant sa position sur l'ellipse qu'elle décrit.

Considérez, par exemple, la figure 52, où la Terre présente son pôle nord au Soleil. En décrivant son

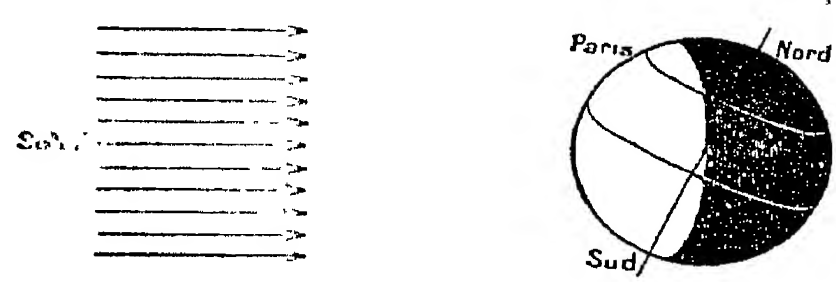


Fig. 53. — Position de la Terre, par rapport au Soleil, pendant l'hiver boréal.

parallèle, en vertu de la rotation du Globe, un point comme Paris accomplira un arc de cercle plus grand dans la lumière que dans l'obscurité; notre contrée aura donc des jours plus longs que les nuits. Pour nous, ce sera l'*été*.

Le pôle sud au contraire ne verra pas du tout le Soleil et un point de l'hémisphère austral sera plus longtemps plongé dans la nuit qu'exposé aux rayons solaires. Pour ces régions, ce sera l'hiver.

L'inverse va se produire lorsque le mouvement de translation de la Terre aura amené notre Globe à droite du Soleil, nous serons en *hiver*, tandis que les contrées australes seront en été; c'est ce que montre la figure 53.

Ces deux positions se produisent : la première,

au *solstice d'été*, le 21 juin ; la seconde, au *solstice d'hiver*, le 21 décembre.

Mais quand la Terre se présente dans la position intermédiaire, c'est-à-dire au commencement du printemps et au commencement de l'automne, le cercle d'illumination passe rigoureusement par les pôles, comme on peut s'en rendre compte sur la figure 54. Les jours sont alors égaux aux nuits, c'est le moment des *équinoxes* (21 mars et 21 septembre).

On voit également sur la même figure que pendant notre hiver boréal, le Soleil est plus près de nous qu'en été. Les chaleurs de l'été ne sont donc pas dues à un plus grand rapprochement, mais d'une part à la longueur des jours par rapport aux nuits, et d'autre part au fait que pendant la saison chaude, le Soleil est plus élevé au dessus de l'horizon. Il atteint sa plus grande hauteur le jour du solstice d'été et il est au plus bas le jour du solstice d'hiver et alors ses rayons nous arrivent très obliquement.

Autre remarque importante : comme le Soleil avance chaque jour en apparence sur l'écliptique qu'il ne quitte pas, et que l'écliptique coupe l'équateur céleste en deux points opposés, il arrive que deux fois par an le Soleil traverse l'équateur, une première fois en passant de l'hémisphère sud à l'hémisphère nord, une seconde fois en revenant à l'hémisphère sud. En ces deux circonstances, ce sont les *équinoxes*. Le point qui marque l'équinoxe de

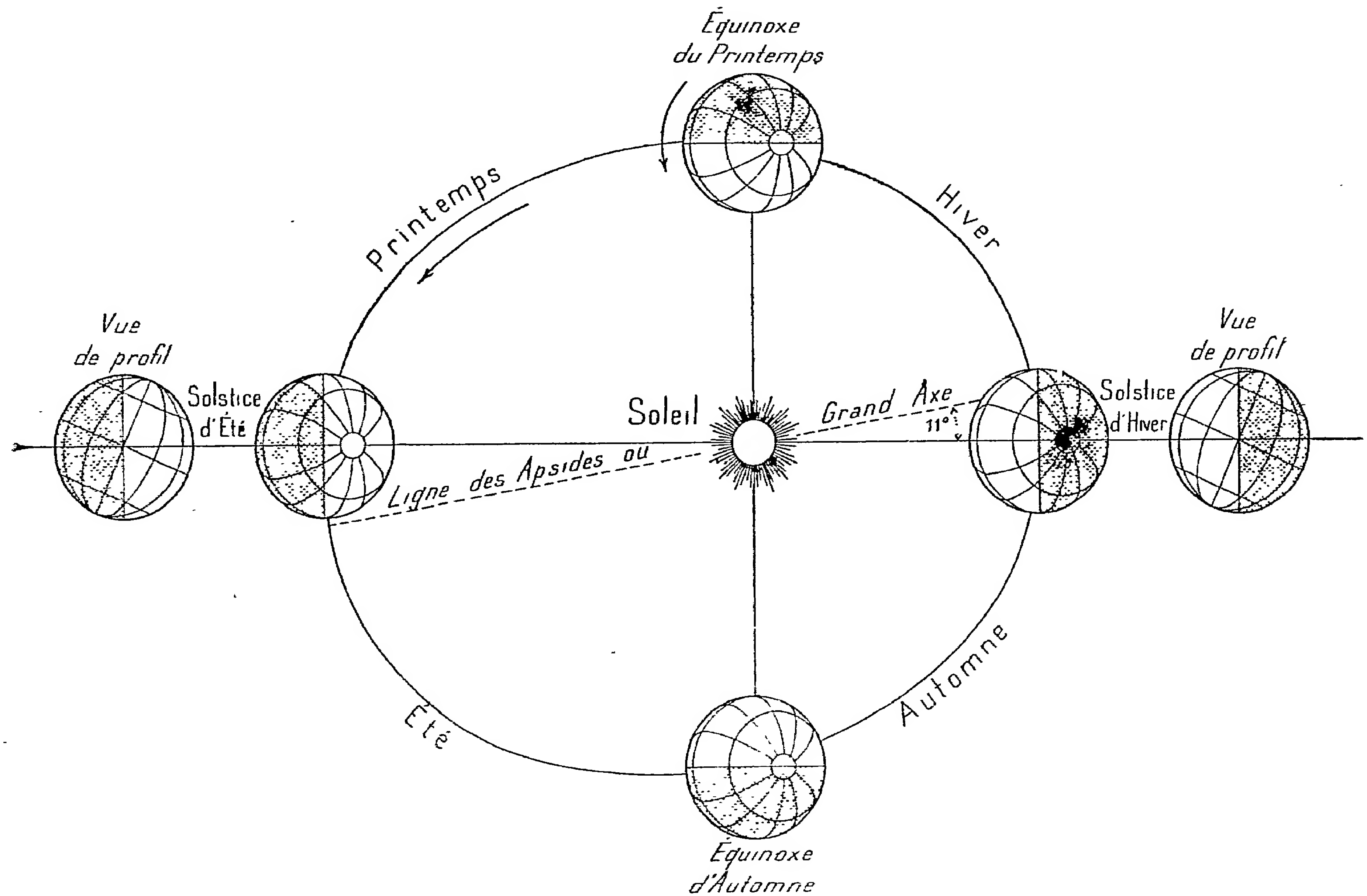


Fig. 54. — Figure indiquant les positions de la Terre sur son orbite, leurs rapports avec la durée des jours et des nuits et les différentes saisons.

printemps est donc à la fois sur l'équateur et l'écliptique, à l'intersection des deux plans de la sphère céleste, c'est le *point vernal*, commencement de l'année astronomique, et lorsque le Soleil y reviendra au printemps suivant, il se sera écoulé une année entière ; c'est ce que nous avons appelé l'*année tropique*, base de notre Calendrier.

26. La Précession des équinoxes et ses conséquences. La Nutation.

Nous avons dit qu'au cours de sa translation autour du Soleil, l'axe de la Terre restait toujours parallèle à lui-même ; ce n'est pas tout à fait exact.

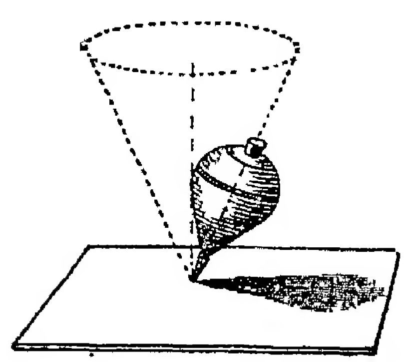


Fig. 55. — L'axe de la Terre, comme celui d'une toupie, décrit un cône dans l'espace.

Le Soleil agit par son attraction sur le renflement équatorial de la Terre ; si notre Globe ne tournait pas sur lui-même, l'attraction solaire aurait vite fait de le redresser et l'équateur se confondrait bientôt avec l'écliptique. L'axe de la Terre devenant perpendiculaire à ce plan, il n'y aurait plus ni hiver, ni été et les jours seraient tous égaux aux nuits à toutes les latitudes. Mais comme la Terre tourne rapidement sur elle-même, son mouvement de rotation se combine avec l'action « redressante » du Soleil, et le résultat est que l'axe de la Terre décrit un cône

en l'espace d'environ 26 000 ans (1). Comme d'autre part, l'axe de la Terre prolongé indique le pôle céleste, et que cet axe n'est pas fixe, il s'ensuit que ce pôle

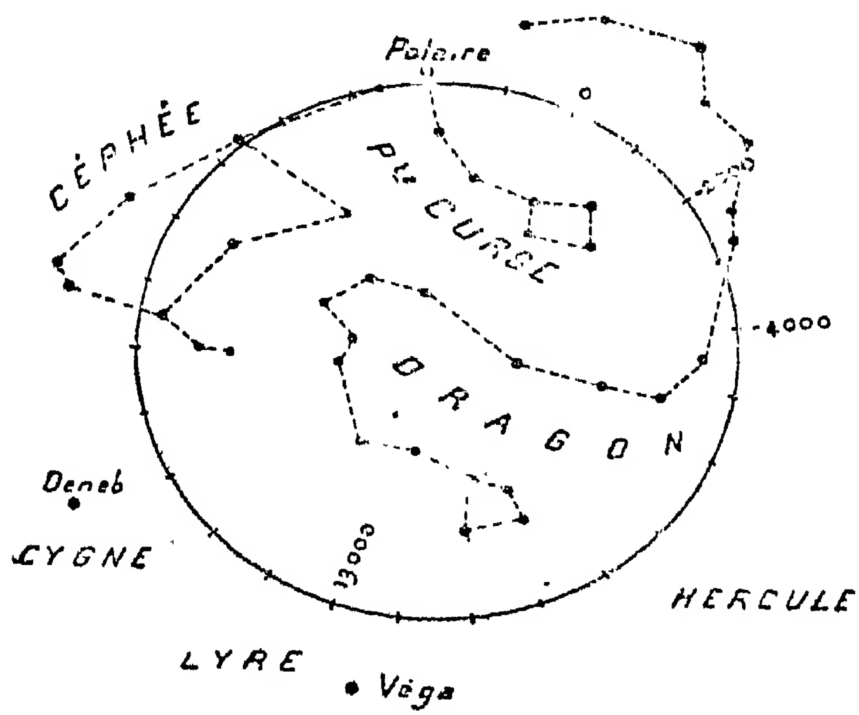


Fig. 56. — Déplacement du pôle céleste suivant une circonférence parcourue en 26 000 ans.

lui-même changera de position au cours des siècles. Il y a 6 000 ans, notre étoile polaire était un astre du Dragon ; l'an 13 000, ce sera Véga, la brillante étoile de la Lyre, et dans 26 000 ans, le pôle céleste reviendra près de notre Polaire actuelle (fig. 56).

Ce n'est pas tout : l'axe de la Terre étant solidaire de l'équateur, celui-ci changera également de position ; il fera bien toujours un angle de 23° 1/2 avec l'écliptique, mais l'orientation de son plan variera.

(1) Une toupie dont l'axe décrit un cône autour d'une verticale donne une bonne idée du mouvement de l'axe de la Terre, qui décrit un cercle dont le centre est le pôle de l'écliptique (v. fig. 55).

Regardez attentivement les figures 57 et 58. Dans la première (fig. 57), l'équateur céleste, prolongement

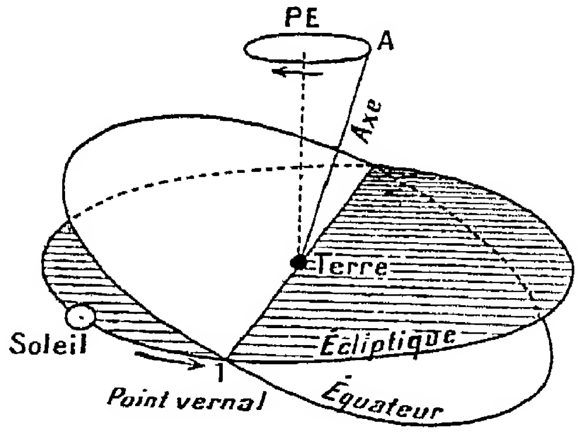


Fig. 57.

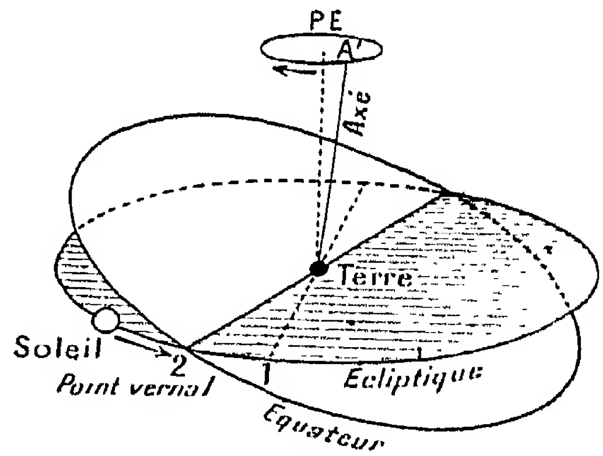


Fig. 58.

Ces deux figures montrent pourquoi le *point vernal* se déplace d'une année à l'autre.

de l'équateur terrestre, coupe l'écliptique en 1, déterminant ainsi le *point vernal*. Le printemps commencera au moment où le Soleil atteindra ce point. Mais l'année suivante, l'axe de la Terre, décrivant un cône en 26 000 ans, aura quelque peu changé sa direction (fig. 58) ; de A, le pôle céleste est venu en A', entraînant avec lui l'équateur qui coupera l'écliptique au point 2 (au lieu de 1). Le Soleil va donc rencontrer de ce fait le point vernal 20 *minutes plus tôt* que l'année précédente, et voilà pourquoi l'année tropique (intervalle entre deux équinoxes de printemps) est un peu plus courte que l'année sidérale (temps que la Terre met à accomplir une révolution complète autour du Soleil).

Ainsi comprend-on que le moment de l'équinoxe, marqué par le point vernal, avance chaque année de 20 minutes (de là ce nom de *précession* des équi-

noxes) et que, par suite, le Soleil au printemps n'occupe pas la même position parmi les étoiles et paraisse

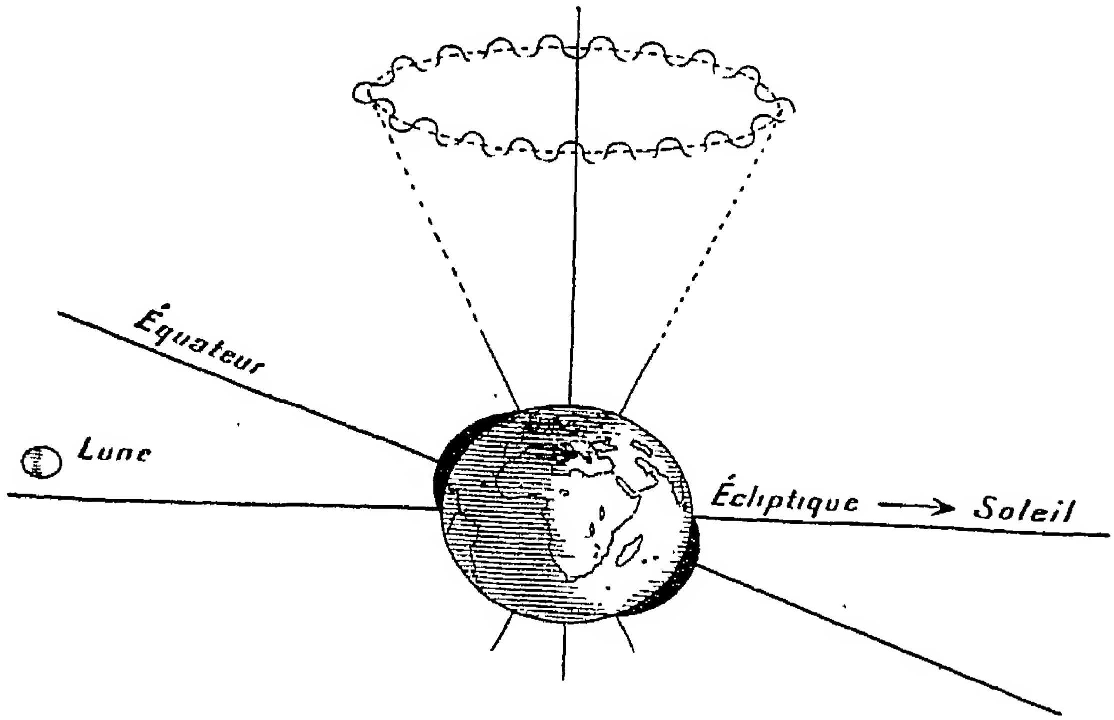


Fig. 59. — Sous l'influence des attractions de la Lune et du Soleil, l'extrémité de l'axe terrestre décrit une sorte de circonférence dentelée.

se promener à travers les constellations zodiacales, celles qui contiennent l'écliptique. Ainsi, au temps d'HIPPARQUE, 130 ans av. J.-C., le Soleil apparaissait à l'équinoxe du printemps dans le Bélier, tandis qu'il coïncide aujourd'hui avec la constellation des Poissons (1).

Nous venons de voir que la cause de la précession réside dans l'attraction que le Soleil exerce sur le renflement équatorial de la Terre, mais la Lune, qui tourne autour de nous dans un plan très voisin

(1) Voici les noms des constellations du Zodiaque qui entourent l'écliptique : Le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer, le Lion, la Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau, les Poissons.

de l'écliptique, agit elle aussi, quoique à un degré moindre, comme le Soleil ; sous son influence, l'axe de la Terre décrit autour du pôle céleste, une petite circonférence en l'intervalle de 18 ans 1/3 ; c'est la *nutation*. Tout compte fait, les deux mouvements se combinant, l'axe de a Terre décrit autour du pôle de l'écliptique une sorte de circonférence dentelée qui se ferme tous les 26 000 ans environ (fig. 59).

Encore une remarque pour terminer : Les points équinoxiaux se déplaçant sans cesse sur notre trajectoire annuelle, on comprend pourquoi les commencements de l'été et de l'hiver (solstices) ne se font pas nécessairement à l'aphélie et au périhélie, c'est-à-dire aux extrémités du grand axe de notre ellipse. On peut voir sur la figure 54 que le grand axe, qu'on appelle aussi *ligne des apsides*, ne coïncide pas avec la ligne des solstices ; notre Globe n'atteint son périhélie que le 1er janvier, c'est-à-dire une dizaine de jours après le solstice d'hiver.

La Lune.

Dans sa ronde incessante autour du Soleil, la Terre est accompagnée d'un corps plus petit qui est son satellite : c'est la *Lune* qui tourne autour de nous sur une orbite très peu inclinée par rapport à notre trajectoire. Cette faible inclinaison d'environ 5 degrés vous explique pourquoi son chemin apparent sur la voûte céleste diffère très peu de celui du Soleil,

27. Les phases de la Lune.

Bien des personnes se demandent encore pour quelle cause la Lune présente des phases au cours de ce que l'on appelle le mois lunaire. L'explication est pourtant très simple. Faites l'expérience suivante : Tenez un œuf en face de vos yeux, entre le

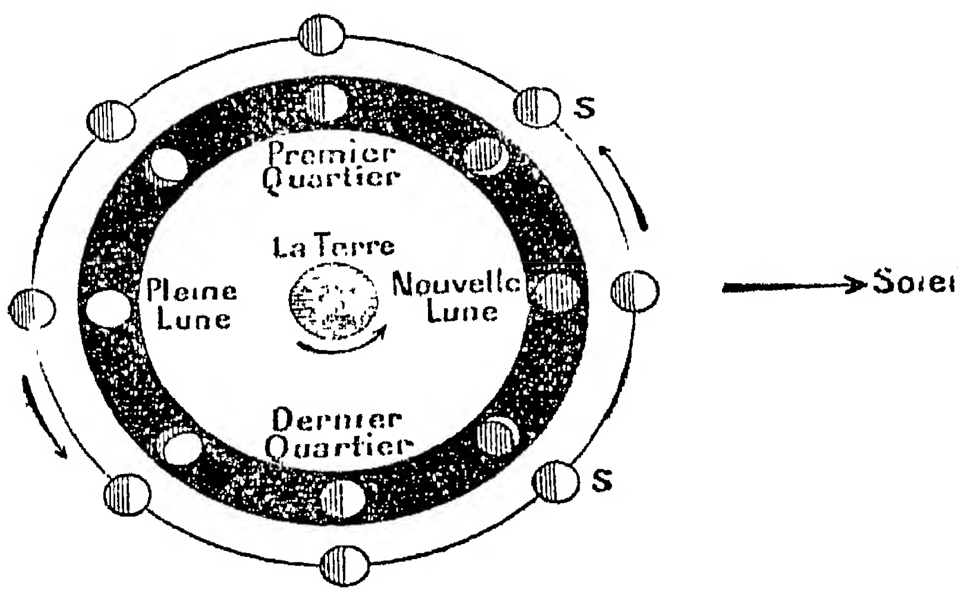


Fig. 60. — Explication des phases de la Lune. A l'intérieur de l'orbite, on a représenté les phases lunaires, telles qu'on les voit de la Terre.

pouce et l'index et à bras tendu, puis, placez-vous un soir à quelques mètres de distance d'une lampe allumée et pivotez sur vous-même ; votre œuf passera par toutes les phases de la Lune.

Lorsque, en effet, l'œuf est entre la lampe et vous, vous ne pouvez apercevoir sa face éclairée, car il vous tourne sa moitié obscure : l'œuf est dans la position de la *Nouvelle Lune.* Maintenant, faites un quart de tour vers votre gauche, pour imiter notre satellite qui est animé d'un mouvement *direct,* la

face de l'œuf qui vous regarde sera éclairée par moitié : *Premier quartier* de la Lune. Tournez alors le dos à la lampe et ayez soin de placer l'œuf un peu au-dessus de votre tête, cette fois vous apercevrez complètement toute sa moitié éclairée : *Pleine Lune* ; encore un quart de tour, *Dernier quartier*, et vous revenez après un autre quart de tour à la Nouvelle Lune (Voir la fig. 60).

Le temps qui sépare deux Nouvelles Lunes consécutives est de 29 jours et demi à peu près et s'appelle *lunaison*.

28. Nous voyons toujours la même face de la Lune.

Si vous avez attentivement observé la Lune, vous avez pu remarquer qu'elle nous présente toujours le même aspect. C'est qu'en fait, nous ne voyons qu'une face de la Lune, le même hémisphère.

Alors, penserez-vous, elle ne tourne donc pas sur elle-même ? — Si fait, mais sa durée de rotation est égale à sa durée de révolution autour de la Terre. Vous ne comprenez pas ? Eh bien, faites encore l'expérience suivante.

Tournez autour d'une table ronde, en ayant soin de regarder constamment une lampe placée au centre ; lorsque vous serez revenu à votre point de départ, vous aurez, sans vous en douter, accompli un tour sur vous-même. La preuve, c'est que vous avez, dans l'intervalle, fait face aux quatre murs de votre chambre. Or, c'est précisément ce qui serait arrivé

si vous aviez pivoté sur vous-même sans circuler autour de la table.

29. Les librations de la Lune.

Ainsi, la Lune tourne autour de la Terre comme si une barre solide la maintenait rivée au globe ter-

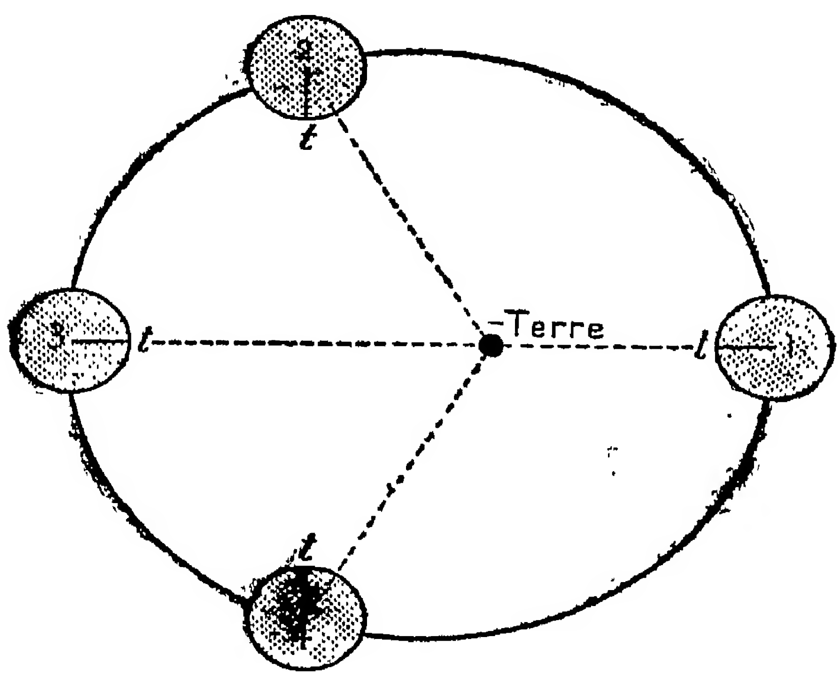


Fig. 61. — En raison de l'ellipticité de l'orbite de la Lune, nous découvrons dans les positions 2 et 4 un peu plus de la moitié vue dans les situations 1 et 3.

restre. De ce fait, comme je l'ai expliqué, nous ne devrions voir qu'un hémisphère, c'est-à-dire 180 degrés en longitude. Eh bien, grâce à une circonstance particulière, nous découvrons à droite et à gauche un peu de l'hémisphère opposé. La Lune décrit une ellipse très excentrique autour de la Terre qui occupe un des foyers ; elle effectue bien sa rotation et sa révolution dans le même temps, mais si sa

rotation est régulière, sa marche ne l'est pas, puisqu'elle s'effectue suivant la loi des aires. Voyez la figure 61 : si une tache *t*, aperçue dans la position de la Lune en 1, est vue au centre du disque, elle sera encore au centre lorsque la Lune sera en 3 ; mais pour que la Lune ait accompli 1 /4 de révolution et 1 /4 de rotation, il faut qu'elle occupe la position 2, plus rapprochée de 3 que de 1, d'après la 2^{e} loi de KÉPLER. La tache *t* nous paraîtra donc à gauche du centre et nous découvrirons sur la droite du disque un peu plus de l'hémisphère vu en 1. De même, lorsque la Lune sera en 4, nous verrons un peu du côté opposé, si bien que pour un observateur terrestre, notre satellite paraîtra osciller de part et d'autre d'une position moyenne, comme si le globe lunaire était animé d'un mouvement de balancement dans l'espace ; de là, le nom de *libration* donné au phénomène (du latin : *librare*, balancer). A cette libration en longitude s'en ajoutent quelques autres moins importantes ; bref, tout compte fait, si nous connaissons 59 p. 100 de la surface lunaire, le reste échappera toujours à notre vision et nul œil humain ne saura jamais ce qui se passe sur l'autre face de la Lune..., à moins d'y aller voir.

30. Distance, dimensions et masse de la Lune.

C'est peut-être ce que feront nos arrières-neveux installés dans un « astrobus » lancé vers la Lune. Après tout, le voyage sera très court, car la Lune

à sa plus petite distance, n'est qu'à 350 800 kilomètres de la Terre.

Comment on a mesuré la distance de la Lune ? Mais par le même procédé que nous avons décrit à propos du Soleil. Imaginons deux observateurs prenant comme base le rayon équatorial de la Terre (fig. 62) ; s'ils visent la Lune en même temps, ils auront l'angle d'un triangle dont le sommet s'appuie sur la Lune.

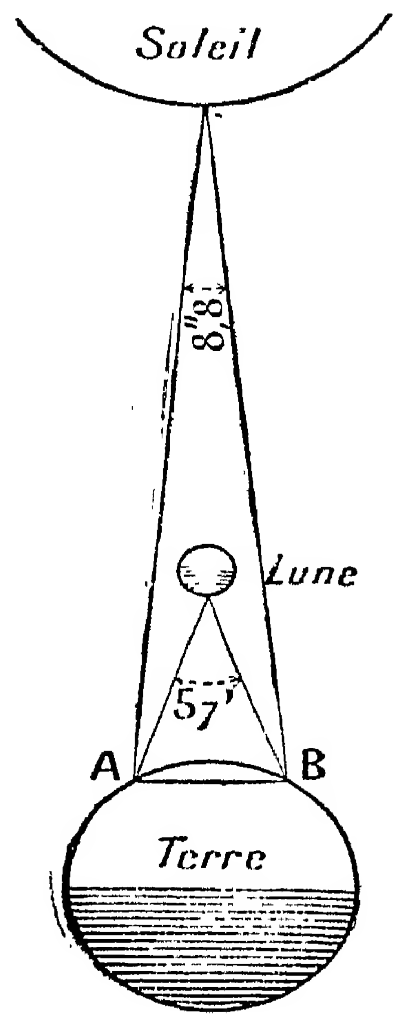


Fig. 62. — Mesure de la distance de la Lune.

L'expérience a été réalisée pour la première fois en 1752, par deux astronomes français, l'abbé de La Caille et de La Lande, opérant simultanément au Cap et à Berlin. Les valeurs trouvées depuis n'ont pas sensiblement modifié leurs résultats.

La *parallaxe de la Lune*, le fameux angle au sommet dont je parlais, est de 57 minutes. Ainsi, vu de la Lune, le *rayon de la Terre* apparaîtrait à un spectateur sous un angle de 57 minutes ; *son diamètre* sous un angle double, soit de 114', alors qu'à la même distance, le diamètre lunaire nous apparaît sous un angle de 32 minutes seulement. Connaissant le diamètre de

notre Terre en kilomètres, une simple règle de trois nous donnera celui de la Lune. Effectuez vous-même les opérations et vous trouverez que le *diamètre de la Lune* est de 3 480 kilomètres sensiblement, ce qui nous donne un *volume* 50 fois plus petit que celui de la Terre. (V. fig. 62 bis). Ainsi, grâce à

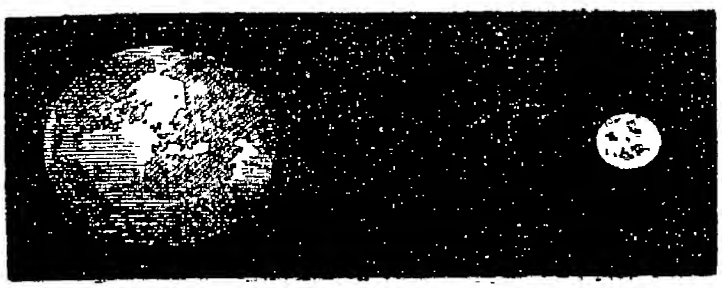


Fig. 62 *bis.* — Dimensions comparées de la Terre et de la Lune.

la parallaxe et au diamètre apparent, nous avons été à même, sans nous occuper de la distance, de connaître les dimensions de notre satellite.

Revenons maintenant à notre premier problème : la *distance* de la Lune. On pourrait opérer comme pour le Soleil, mais pour vous montrer que les astronomes ne sont jamais embarrassés, nous allons prendre une autre méthode. Voyez encore la figure 62, où sont représentés la Terre, la Lune et le Soleil. D'après ce que nous avons dit, un observateur placé sur le Soleil apercevrait le rayon de la Terre sous un angle de 8″,8 (nº 15) tandis que, de la Lune, il le verrait sous un angle de 57′ soit 3 420″, c'est-à-dire 388 fois plus grand. J'en conclus immédiatement que la Lune est 388 fois plus rapprochée de nous que le Soleil (V. nº 10). Or, nous avons vu que la distance du Soleil à la Terre vaut 23 450 rayons terrestres

(nº 18) ; la distance de la Lune sera donc donnée par la division de 23 450 par 388. On trouve 60 au quotient. Ce qui veut dire en langage ordinaire que *la distance de la Lune à la Terre* est de 60 rayons terrestres équatoriaux, soit 384 000 kilomètres en chiffres ronds. Ce nombre est une moyenne, car l'excentricité de l'orbite lunaire met la Lune tantôt à 55, tantôt à 63 rayons de la surface de la Terre et ces chiffres ont une grande importance pour le calcul des éclipses, ainsi que nous aurons l'occasion de le constater.

Pour comprendre comment on parvient à calculer la *masse* de la Lune, il faut vous rappeler que d'après les lois de NEWTON, si la Terre attire la Lune, cette dernière en fait autant, dans la mesure de sa masse, évidemment. Par de légers déplacements du Soleil, aux moments du premier et du dernier quartier de la Lune, on a calculé que le centre de la Terre, du fait de l'attraction de notre satellite, s'avance vers la Lune d'environ 4 640 kilomètres, c'est-à-dire de la 81e partie de notre distance qui reste pour atteindre la Lune. On en conclut que *la masse de la Lune* est 81 fois plus faible que la masse de la Terre (1).

Cela nous donne 3,33 pour la densité moyenne de la Lune (au lieu de 5,51 pour la Terre). La Lune est donc composée de matériaux très légers. La pesan-

(1) Car les distances de deux corps (qui s'attirent) à leur centre de gravité commun sont inversement proportionnelles à leurs masses.

teur y est à peu près 6 fois moins forte que sur notre globe terrestre.

Dans sa marche autour de la Terre, la Lune, avons-

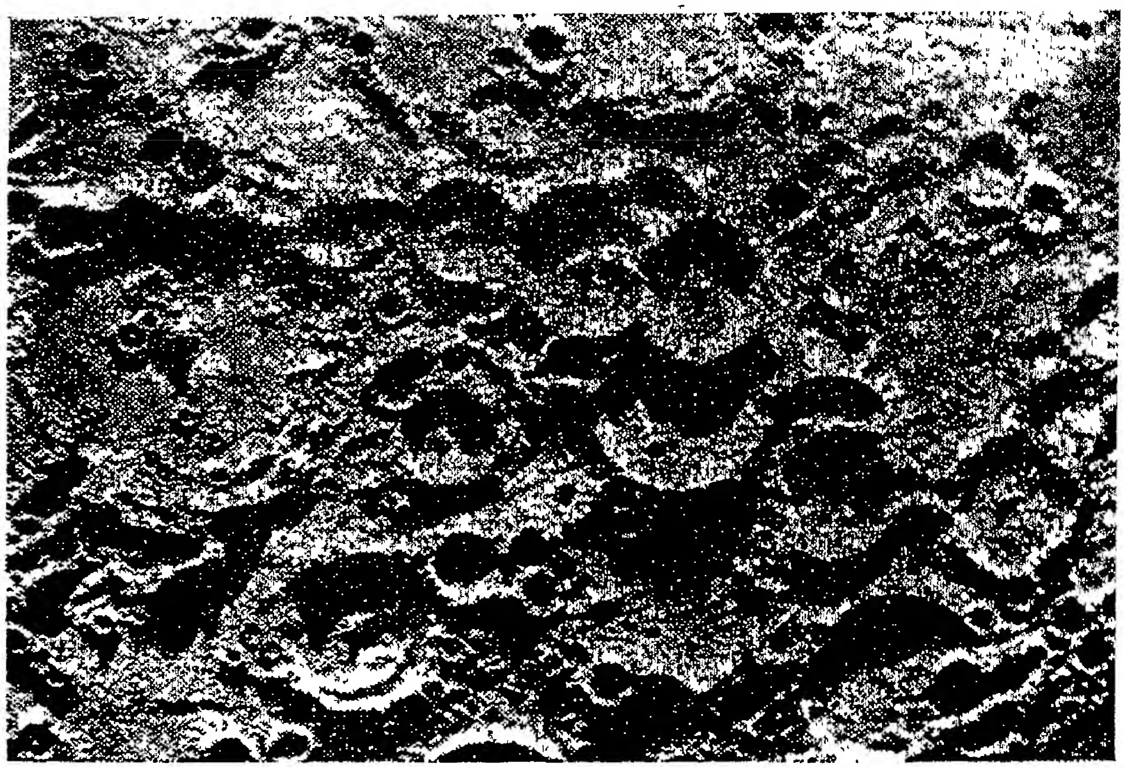


Fig. 63. — Cirques lunaires, d'après un relief de Nasmyth.

nous dit, est animée comme nous d'un mouvement qui a lieu dans le sens direct. C'est ce qui vous explique pourquoi, bien que la Lune soit entraînée par le mouvement apparent de la sphère céleste de l'Est à l'Ouest, elle offre un déplacement très sensible parmi les constellations. C'est ce mouvement propre, direct, donc vers l'Est, qui retarde chaque jour son lever de 52 minutes en moyenne.

C'est ce que vous pourrez facilement constater vous-même dès les jours qui suivent la Nouvelle Lune.

31. Constitution physique de la Lune.

« Cette leçon vaut bien un fromage », disait Maître Renard au Corbeau ; celle que vous venez d'étudier

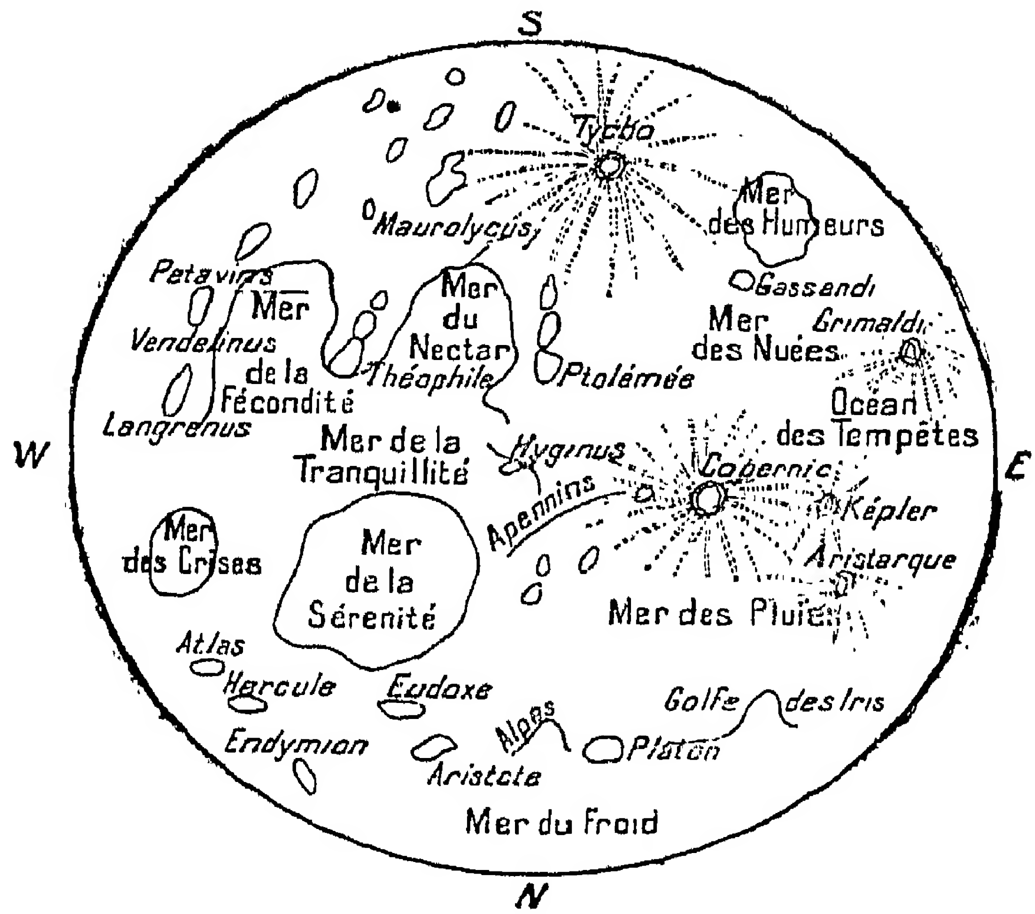


Fig. 64. — Carte schématique de la Lune.

vaut que je vous procure la vision de la Lune à travers un télescope : spectacle ravissant qui a émerveillé Galilée, la première fois qu'il dirigea sa modeste lunette sur notre satellite. Voyez vous-même : La Lune vous apparaît comme une carte en relief, où surgissent des montagnes, des pics pointus, des cirques énormes qu'on prenait autrefois pour d'immenses cratères (fig. 63).

Les plaines grisâtres qui s'étendent à perte de vue avaient reçu des noms de *mers* par les anciens observateurs (v. fig. 64). Nous leur avons conservé leurs appellations, mais nous savons aujourd'hui que la Lune ne contient ni eau, ni lacs, ni mers, ni océans. Et comment un liquide pourrait-il subsister dans la Lune, puisque, au-dessus de cette surface tourmentée, il n'y a aucune trace d'atmosphère ? Peut-être, il y a des millions d'années, une couche d'air recouvrait-elle son sol, mais aujourd'hui, la Lune est une terre morte, un immense désert tantôt torride, tantôt glacé. En raison de la lente rotation de la Lune, les jours lunaires valent à peu près 13 jours des nôtres et les nuits ont la même durée. De ce fait, la température du sol passe de + 100 degrés (pendant le jour), à 250 degrés au-dessous de zéro (pendant la nuit), et l'atmosphère absente, n'est pas là pour atténuer ces températures extrêmes.

Une des caractéristiques les plus curieuses du relief lunaire, c'est la hauteur des montagnes, qui n'est pas en rapport avec la petitesse du diamètre de la Lune.

Il n'est pas rare d'apercevoir sur cette terre proche de la nôtre des pics de 6 000 ou de 7 000 mètres, effilés comme le Cervin. Souvent ces pics sont isolés au milieu de cirques mesurant 60, 100, 200 kilomètres de diamètre.

« Nous comprenons, direz-vous, qu'on puisse, en

les comparant au diamètre de la Lune, sur les photographies par exemple, évaluer la grandeur des cirques lunaires, mais par quel procédé a-t-on pu mesurer la hauteur des montagnes et des pics qu'on y aperçoit ? » — D'une façon très simple, qu'il me reste à vous expliquer.

Observons la Lune, je suppose, un jour de Premier Quartier. A ces moments-là, la limite de l'ombre et de la lumière sépare le disque lunaire en deux moitiés, l'une obscure, l'autre éclairée. Or, il n'est pas rare d'apercevoir dans la partie obscure, le sommet éclairé d'un pic dont le pied est encore dans l'ombre.

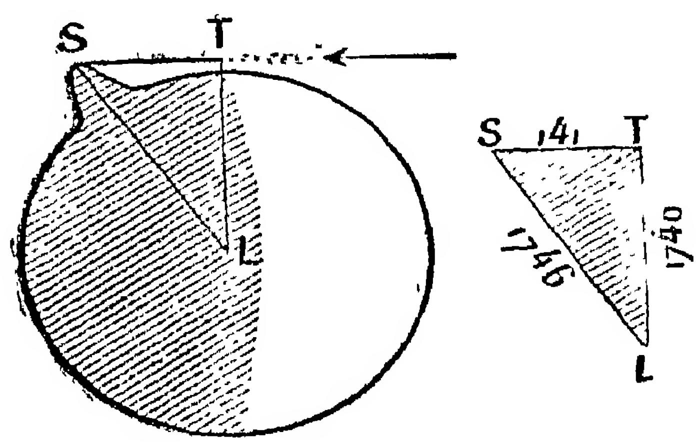


Fig. 65. — Mesure de la hauteur des montagnes de la Lune.

Cela nous indique que les rayons solaires qui atteignent ce sommet, se détachant comme un point lumineux, sur fond noir, sont alors tangents au globe de la Lune, donc perpendiculaires au cercle d'illumination. Voyez la figure 65 : Le sommet éclairé étant en S, le centre de la Lune en L, nous avons un triangle rectangle en T. T S et T L sont les côtés de l'angle droit, tandis que L S est l'hypoténuse de notre triangle. Or, d'après un théorème connu, dit de PYTHAGORE (V. *Géométrie plane*, nº 108),

nous savons que la somme des carrés des côtés de l'angle droit égale le carré de l'hypoténuse.

Le côté T L est connu, c'est le rayon du globe de la Lune, qui vaut la moitié de son diamètre, soit 3 480 divisé par 2, ou 1 740 kilomètres. L'*hypoténuse* a pour valeur *ce même rayon + la hauteur de la montagne.*

Mesurons donc le côté T S. On y arrive facilement à l'aide de l'appareil qui nous a déjà servi pour la mesure d'un diamètre apparent (v. n° 10 et fig. 24) et qui s'appelle un *micromètre.* Supposons que nous ayons trouvé que la distance entre T (limite de l'ombre et de la lumière) et S (sommet éclairé), mesurée par l'écart des deux fils du micromètre, soit de 1 minute 1/3 ou plus simplement 1',3 ; comme le diamètre apparent de la Lune vaut 32 minutes, une simple règle de trois me dira que 1',3 correspond à 141 kilomètres. Je pourrai donc écrire :

141 au carré + 1 740 au carré = Hypoténuse au carré.

ou 19 881 + 3 027 600 = 3 047 481 km.

Prenons la racine carrée de ce dernier nombre, nous trouverons que l'hypoténuse L S de notre triangle vaut 1 745 km. 980 m.

Maintenant, si de 1 745 km. 980 j'enlève 1 740 km (rayon de la Lune) la différence que j'obtiendrai me donnera bien la hauteur du pic dont le sommet est éclairé. Effectuons la soustraction, nous trouvons 5 km. 980 m. soit près de 6 kilomètres.

L'étude physique de la Lune est extrêmement intéressante et à la portée des amateurs qui ne disposent que d'une modeste lunette astronomique. On y peut même consacrer toute une vie sans avoir épuisé le sujet et la tâche est d'autant plus captivante que l'étude de la Lune paraît de plus en plus délaissée par les astronomes de profession qui sont le plus souvent accaparés par d'autres travaux essentiels.

32. Les Marées.

Lorsque la Lune passe au-dessus d'une région du globe terrestre, en vertu de sa masse attirante, elle diminue le poids de tous les objets de cette partie de la Terre. Cette diminution est faible et vous en aurez une idée précise si je vous dis qu'un homme pesant 86 kilogrammes perd seulement un centigramme de son poids. Aucun instrument actuel ne pourrait décéler une perte de masse aussi minime, mais la Terre possède une sorte d'appareil capable, par sa grande étendue, de mettre en relief d'une façon frappante l'action de notre satellite en la circonstance. Cet appareil, c'est l'Océan. Pour conserver leur équilibre, les masses liquides doivent être au même niveau. Mais qu'arriverait-il si, en certains points, la pesanteur était diminuée ? L'expérience des vases communiquants en Physique peut vous l'apprendre. Si dans les deux branches les densités diffèrent, le niveau n'existera plus et la colonne liquide s'élèvera davantage du côté où la densité

sera plus faible. C'est exactement ce qui se passe dans l'Océan (v. fig. 66). Si la Lune est en face du point A, en vertu de son attraction, elle diminuera la pesanteur des eaux qui se trouvent dans cette région et son action se fera moins sentir aux endroits situés à 90 degrés du point A. La densité des eaux étant plus faible en A qu'en C et en B, le niveau de l'Océan doit s'élever en face de la Lune et le point A marque le lieu où la marée est la plus forte. Donc *bosse* au point A.

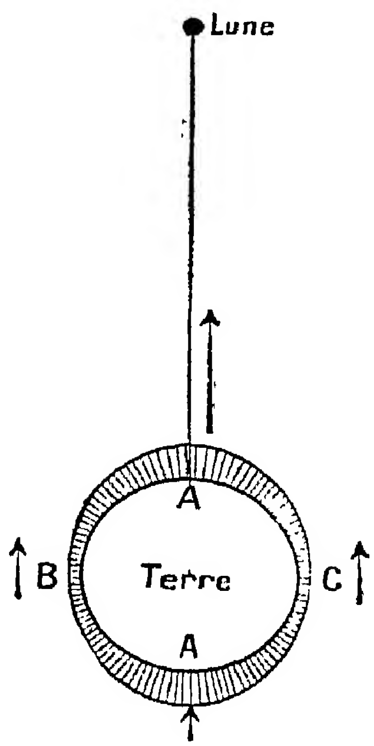


Fig. 66. — Explication des Marées.

Mais le plus curieux de l'affaire, c'est qu'on remarque en même temps la formation d'une bosse liquide analogue au point A′ situé en une région diamétralement opposée au point A. Comment l'expliquer ? D'une façon aussi simple et aussi rationnelle. Le point A′ étant plus éloigné de la Lune que les points B et C, doit subir une attraction moindre que ces deux points ; par rapport à eux, l'intensité de la pesanteur sera donc moindre en A′, donc la densité des eaux de cette région étant plus faible, nous devrons constater une augmentation du niveau de l'Océan. Ainsi, la raison qui provoque une marée au point A′ est bien la même que celle qui a été évoquée pour expliquer la marée en A.

La Lune revenant en face d'un même demi-méridien au bout de 24 heures et 52 minutes environ, le diamètre AA' du renflement suivra son mouvement quotidien, si bien que nous devrons avoir *deux marées* dans cet intervalle de temps, et c'est en effet ce que l'on constate : entre deux hautes mers, il s'écoule 12 h. 25 m. environ, mais ces chiffres sont théoriques et pour l'heure de la marée sur les côtes, il faut tenir compte des découpures de la terre ferme, du profil sous-marin, etc.

Il existe aussi une marée due à l'attraction du Soleil, mais celle-ci est deux fois moindre que celle de la Lune. Les deux actions, lunaire et solaire, se combinent, et s'ajoutent même, aux moments des Pleines lunes et des Nouvelles lunes (1).

Les Eclipses.

C'est maintenant le moment ou jamais d'étudier les *Eclipses*. Nous ne pourrons le faire que sommairement sans peine de trop allonger ces Leçons.

Lorsque la Lune passe derrière la Terre au moment de la Pleine Lune, notre satellite passe dans notre ombre, il y a donc éclipse de Lune. Mais au moment où la Lune est nouvelle, si notre satellite passe devant le Soleil, c'est l'astre du jour qui est éclipsé (v. fig. 67).

(1) Les lecteurs que ces questions intéressent trouveront une documentation abondante dans mon ouvrage : *Un jour dans la Lune*. Voir aussi mon *Etude de la Lune* et ma *Carte de la Lune*. Je leur recommande en même temps mon ouvrage sur *Les éclipses* que nous allons étudier très sommairement à la fin de cette Leçon. Tous ces ouvrages sont en vente à la même Librairie (voir aux Annonces.)

33. Les éclipses de Lune.

Si l'orbite de la Lune coïncidait avec le plan de notre trajectoire, c'est-à-dire avec l'écliptique, il y aurait éclipse de Lune et de Soleil à toutes les Pleines Lunes et à toutes les Nouvelles Lunes, mais il n'en

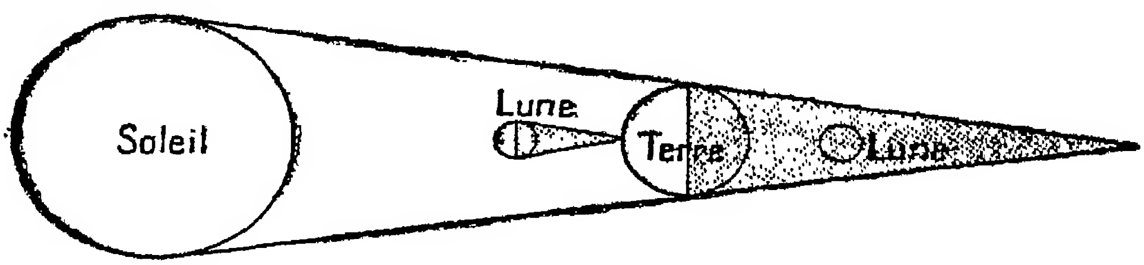


Fig. 67. — Figure générale des Éclipses.

est pas ainsi ; parce que la Lune se meut sur son orbite, dans un plan qui est incliné, nous l'avons dit, de 5 degrés sur l'écliptique. La Lune peut donc passer *au-dessus* ou *au-dessous* de la direction du Soleil. Pour qu'il y ait éclipse, il faut que la Lune traverse l'écliptique à un point tel que le Soleil, la Lune et la Terre soient sur une même ligne droite. C'est d'ailleurs cette condition qui a valu au plan de notre trajectoire ce nom d'*écliptique*.

A chaque lunaison, la Lune coupe bien l'écliptique en deux endroits qu'on appelle *nœuds*, mais de même que la ligne des équinoxes se déplace sur l'écliptique et fait un tour entier en 26 000 ans, de même la ligne des nœuds ne reste pas fixe ; chaque nœud avance sur l'écliptique et fait une révolution complète en 18 ans 1/3, période de la nutation. Bien que l'incli-

naison de l'orbite lunaire conserve toujours sa même valeur de 5° sur l'écliptique, le nœud ne se présente donc que très peu souvent dans la direction du Soleil.

Ceci bien compris, supposons que la Lune passe à un de ses nœuds au moment de la Pleine Lune, elle est derrière la Terre par rapport au Soleil. L'éclipse est-elle possible ? C'est ce qu'il faut examiner de près.

Le Soleil étant plus gros que la Terre, l'ombre qu'il projette de notre planète est un cône. On l'obtient en menant des bords du Soleil des tangentes à la Terre (fig. 68). Pour qu'il y ait éclipse de Lune, notre satellite doit être noyée dans ce cône d'ombre, mais il y a une condition dont nous n'avons pas encore parlé : il faut que ce cône d'ombre soit plus long que la distance de la Lune. Nous allons voir immédiatement que cette condition est toujours réalisée.

Dans la figure 68, c'est TO, longueur du cône d'ombre, qu'il faut calculer. Par le centre de la Terre (T), menons une parallèle à la tangente AO. Les triangles ombrés se ressemblent et leurs côtés sont dans le même rapport. Cela veut dire que si BS est 3 fois plus grand que CT, de même ST sera 3 fois plus grand que TO. Maintenant mettons des chiffres. Si CT, le rayon de la Terre, vaut 1 unité, je sais que SA (rayon du Soleil) vaut 109 (n° 16). Mais BA vaut aussi une unité, comme CT, puisqu'il sont compris entre 2 parallèles. Donc BS vaut 109 — 1 = 108.

Mais je connais également ST ; c'est la distance du Soleil à la Terre qui vaut 23 450 rayons terrestres.

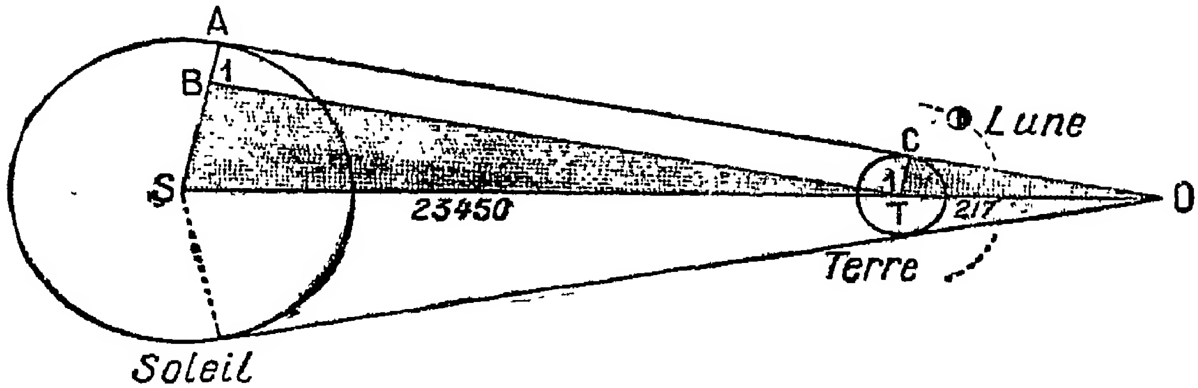


Fig. 68. — Calcul de la longueur du cône d'ombre de la Terre.

Puisque CT est 108 fois plus petit que SB, le côté TO du petit triangle sera 108 fois plus petit que 23 450, côté ST du grand triangle. Or 23 450 divisé par 108 nous donne 217. Cela signifie que la longueur du cône d'ombre de la Terre vaut 217 rayons terrestres, et comme la Lune est à 60 rayons de la Terre, on voit que notre satellite pénétrera toujours dans l'ombre de la Terre si le nœud se produit au moment de la Pleine Lune.

On démontrerait de même que quelles que soient les distances du Soleil et de la Lune suivant les époques, notre cône d'ombre sera toujours plus long, et de beaucoup, que la distance de notre satellite.

Il est assez rare que dans une éclipse de Lune, notre satellite disparaisse complètement à la vue

(1) Dans les conditions les plus défavorables la longueur du cône d'ombre de la Terre est encore de 1 357 000 kilomètres.

Le plus souvent le disque lunaire prend une teinte rouge cuivré plus ou moins atténuée. Cela tient à ce que la surface de la Lune reste éclairée par les rayons solaires qui sont tamisés et même réfractés en traversant des couches basses de notre atmosphère qui contient beaucoup de vapeur d'eau. La couleur rouge du Soleil couchant montre d'ailleurs la part que prend cette vapeur d'eau dans le phénomène des éclipses de Lune.

34. Les Eclipses de Soleil.

Les éclipses de Lune sont visibles de tout l'hémisphère qui a la Lune au-dessus de son horizon. Il n'en est plus de même pour les éclipses de Soleil et cela se conçoit aisément. La Lune étant 50 fois plus petite que la Terre, son cône d'ombre est relativement court et il arrive parfois que son sommet n'atteint pas la surface de notre planète. Au reste, si l'on remarque que les diamètres apparents du Soleil et de la Lune sont presque les mêmes à leur distance moyenne et très voisins de 32′, on voit qu'il suffit d'un faible écart de part et d'autre pour que le disque de la Lune ne recouvre pas entièrement la surface du disque solaire. Lorsque ce cas se présente, l'éclipse de Soleil est *annulaire* (fig. 69).

Si la Lune, même avec un diamètre apparent assez grand pour recouvrir le Soleil, ne passe pas exactement sur la droite qui joint le Soleil à la Terre,

au moment de la Nouvelle Lune, l'éclipse n'est que *partielle* (fig. 70).

Lorsque la Nouvelle Lune se produit sur cette

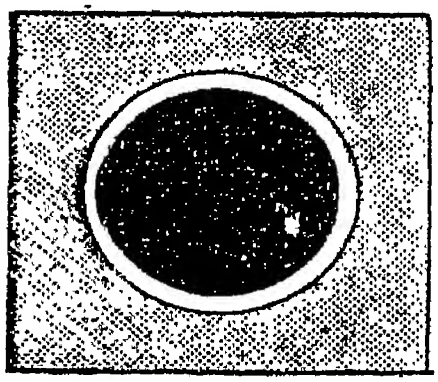


Fig. 69. — Eclipse annulaire de Soleil.

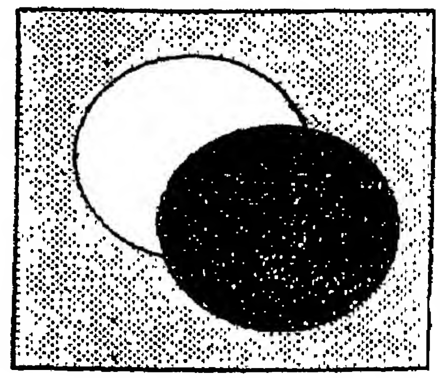


Fig. 70. — Eclipse partielle de Soleil.

même droite, il y a éclipse *totale*, mais à la condition que l'ombre de notre satellite atteigne la Terre (fig. 71). La longueur du cône d'ombre de la Lune se calcule de la même manière que celle du cône d'ombre de la Terre. Dans le cas le plus favorable, la Lune passe à 350 800 kilomètres de notre planète et son ombre s'étend derrière elle à 400 000 kilomètres, le cône d'ombre est donc largement coupé par la Terre. La tache d'ombre offre alors une largeur de 260 kilomètres et c'est cette tache qui trace sur la surface terrestre un long ruban dont tous les points jouissent de la vue de l'éclipse totale. Ce cas se présente rarement et le plus souvent la tache, qui se déplace à la surface de la Terre par le jeu combiné des mouvements des trois astres en présence, offre

une étendue assez restreinte et l'éclipse totale ne dure que quelques instants.

L'intérêt des éclipses totales réside plus spéciale-

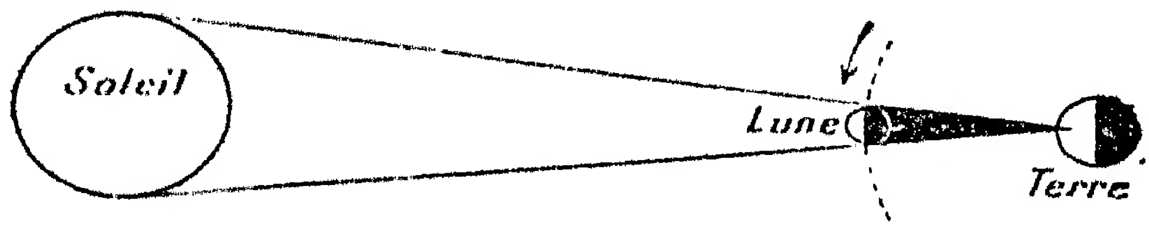


Fig. 71. — Conditions d'une éclipse totale de Soleil.

ment dans l'étude de la haute atmosphère du Soleil. Celle-ci nous est toujours dérobée par la clarté du jour et elle n'apparaît à nos yeux émerveillés qu'aux moments où le disque solaire est complètement

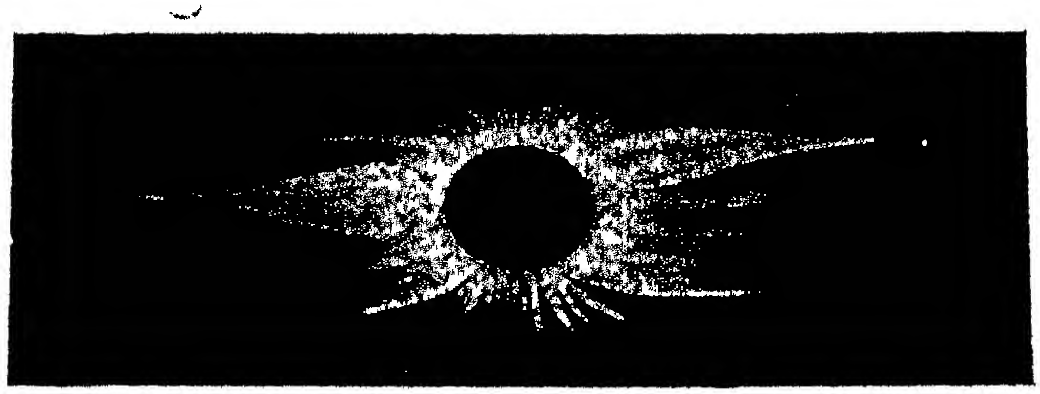


Fig. 72. — La couronne solaire visible pendant une éclipse totale.

caché par la Lune. Cette atmosphère très ténue, mais qui s'étend fort loin du Soleil, s'appelle *couronne solaire* (fig. 72). Ses formes sont liées à l'activité périodique du Soleil.

Les mêmes éclipses, aussi bien de Lune que de Soleil, reviennent tous les 18 ans plus 10 ou 11 jours.

Cette période a été appelée *Saros* (1) par les anciens, mais elle ne peut indiquer exactement les régions où se produisent les éclipses totales de Soleil. Pour un endroit donné, celles-ci sont très rares. La dernière éclipse totale visible en France a eu lieu en 1842. La prochaine qui se produira dans notre pays n'aura lieu que le 15 février 1961 ; elle sera visible dans le Midi, et il faudra attendre jusqu'au 11 août 1999 pour en observer une autre qu'on verra dans la région parisienne.

Je souhaite à mes jeunes lecteurs de pouvoir contempler ce spectacle, un des plus beaux que la Nature puisse nous offrir.

(1) Le mot *Saros* veut dire *répétition*.

SIXIÈME LEÇON

LES PLANÈTES SUPÉRIEURES
LES COMÈTES ET LES ÉTOILES FILANTES

Nous allons continuer notre excursion à travers le Système solaire, en nous éloignant de plus en plus du Soleil. A l'opposé de Vénus, nous rencontrons la planète Mars ; puis viendra la série des grosses planètes : Jupiter, Saturne, etc.

35. La planète Mars et ses 2 satellites.

Mars circule autour du Soleil à 228 millions de kilomètres. C'est après Vénus le monde le plus proche de la Terre. Alors qu'à sa plus faible distance, Vénus est à moins de 40 millions de kilomètres de notre planète, Mars ne s'en approche qu'à 56 millions, mais grâce à son atmosphère très légère, sa topographie nous est bien connue et nous avons pu déterminer très exactement le temps de sa rotation, qui est de 24 h. 37 m. 23 s. Telle est la durée du *jour martien*, qui diffère très peu du nôtre. Mais l'*année* y est de 687 jours, presque deux fois la durée des années terrestres. Les saisons y sont donc le double des nôtres, quoique tout à fait analogues, en raison d'une

similitude d'inclinaison des équateurs martien et terrestre sur l'écliptique.

Au télescope, Mars laisse apercevoir des calottes polaires dont l'étendue varie de l'hiver à l'été, puis

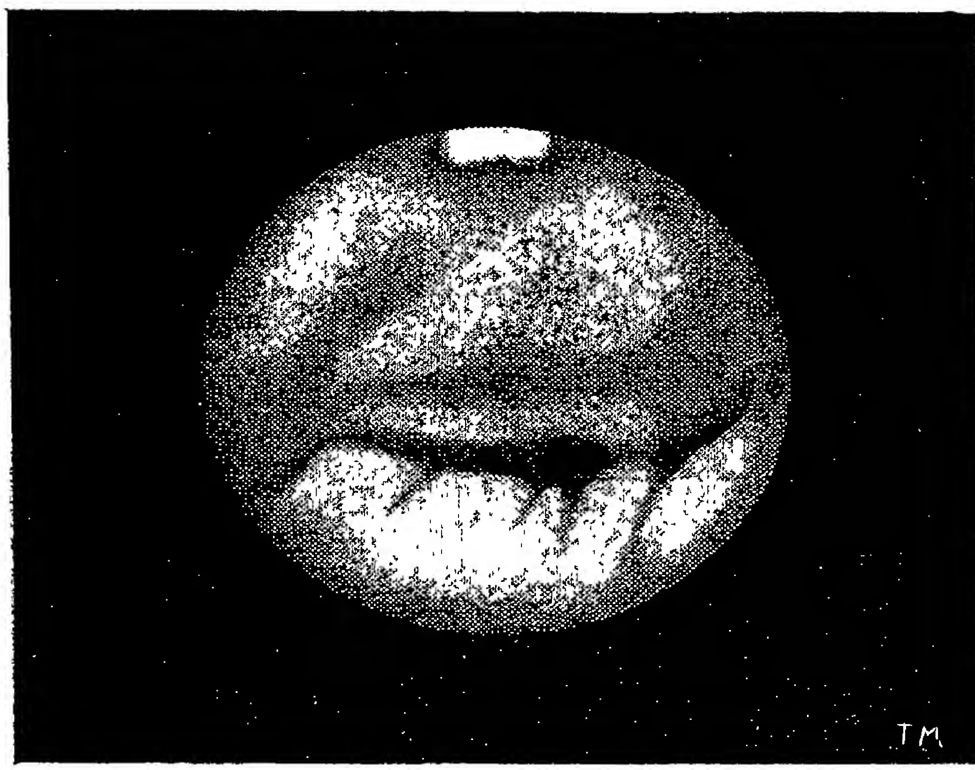


Fig. 73. — Vue télescopique de la planète Mars. (Dessin de l'Abbé Moreux).

de grandes surfaces rougeâtres qui sont sans doute des continents, des taches sombres souvent colorées en vert que les anciens astronomes ont prises pour des mers ou des océans, et enfin de longues traînées auxquelles on donnait autrefois le nom de *canaux* (fig. 73).

La réalité est probablement tout autre. L'atmosphère martienne est si raréfiée que le sol ne peut contenir de grandes masses d'eau. Les calottes polaires elles-mêmes ne sont formées que d'une faible couche

de neige. Les mers paraissent plutôt assimilables à des vallées recouvertes d'une maigre végétation de mousses ou de lichens. Il en est de même des fameux canaux qui ne sont que des taches discontinues, comme des oasis dans un désert.

Le spectroscope décèle dans l'atmosphère martienne la présence de vapeur d'eau et d'oxygène, mais en faible quantité : Mars est un monde en train de mourir et si la température peut atteindre une quinzaine de degrés à l'équateur, en été, par contre, les nuits sont extrêmement froides et un thermomètre à gaz y accuserait des températures probablement voisines de 120° au-dessous de zéro. Bref, les conditions y sont telles qu'aucun animal à organisation élevée ne pourrait vivre sur Mars.

La planète est 6 fois 1/2 plus petite que la Terre et sa densité n'est que de 3,8 seulement.

Mars possède deux petits satellites : le plus gros, dont le diamètre est d'environ 12 kilomètres, offre cette particularité de tourner en 7 h. 1/2 autour de Mars, c'est-à-dire en un temps plus court que la rotation de sa planète. Tous les deux tournent dans le sens direct, comme notre Lune, comme la Terre et comme Mars lui-même.

36. Les astéroïdes ou petites planètes.

Si vous jetez un coup d'œil même superficiel sur le plan du Système solaire, vous pouvez remarquer que, d'une façon approximative tout au moins, les

intervalles qui séparent les planètes paraissent se doubler en passant de l'une à la suivante. Il n'existe qu'une exception évidente entre Mars et Jupiter. Il y a là une place vacante, et c'est déjà ce que KÉPLER,

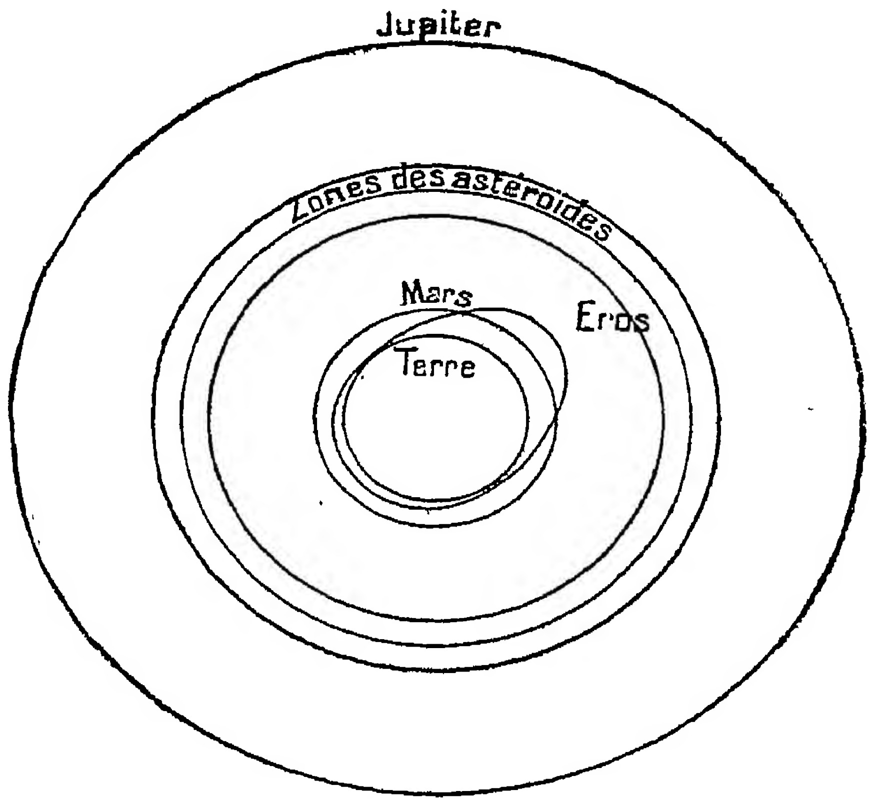


Fig. 74. — Orbites des astéroïdes et d'Eros.

le musicien qui rêva toujours d'harmonie, avait remarqué dès qu'il eut fixé les distances relatives des planètes.

Aussi, pendant longtemps rechercha-t-on la planète qui semblait manquer.

Le Père PIAZZI, directeur de l'observatoire de Palerme, la découvrit enfin le 1er janvier 1801. Mais pour tous les astronomes, ce fut une déception : le nouvel astre qu'on baptisa *Cérès*, n'avait que 770 kilomètres de diamètre.

Depuis, on s'est aperçu que la place vacante était occupée par des centaines de *petites planètes*, ou *astéroïdes*, qui circulent généralement entre Mars et Jupiter (fig. 74), mais dont les excentricités sont souvent telles que certaines s'approchent plus près de nous que Mars lui-même. Parmi ces dernières, il faut mentionner très spécialement *Eros* qui, à certaines époques, s'approche de la Terre à 22 millions de kilomètres ; c'est cet astéroïde qui, en 1901 et en 1931, a servi aux astronomes pour calculer d'une façon précise la parallaxe du Soleil. La mesure de la distance d'une planète aussi proche est en effet beaucoup plus aisée que celle du Soleil lui-même ; or si l'on détermine la distance d'Eros à la Terre et son temps de révolution, la 3e loi de KÉPLER nous permettra d'obtenir immédiatement notre distance au Soleil. Et c'est cette opération qui a donné les $8'',806$ admises pour la parallaxe solaire.

A l'heure présente, on a découvert près de 3 000 astéroïdes, mais 1 300 environ ont été seulement identifiés et possèdent un état civil en bonne et due forme. Tous ces corps célestes sont très petits et leur masse totale ne dépassera jamais la centième partie de celle de la Terre.

37. Jupiter et ses 9 Satellites.

Avec *Jupiter* commence la série des grosses planètes et l'on peut ajouter, de planètes totalement différentes de celles que nous venons d'étudier. Si

en effet les densités de Mercure, de Vénus, de la Terre et de Mars, sont assez fortes, celles de la nouvelle série sont au contraire très faibles et nous avertissent que ces planètes sont encore fluides et à haute température, c'est-à-dire qu'elles en sont toujours au stade de leur formation. Par ailleurs, leurs atmosphères sont totalement différentes : alors que l'oxygène domine sur la mince pellicule gazeuse qui entoure des planètes comme Vénus, Mars et la Terre, dans les grosses planètes, c'est surtout l'hydrogène que révèle le spectroscope au sein de leurs épaisses atmosphères.

Situé à 777 millions de kilomètres du Soleil, *Jupiter* met près de 12 années pour accomplir sa révolution. Son globe, 1 300 fois plus volumineux que la Terre, tourne néanmoins sur lui-même en 9 h. 53 m. Cette rapidité de rotation lui a donné un aplatissement considérable (1/16) et qui est très visible même avec un faible instrument.

Avec des grossissements plus forts, on aperçoit à la surface de la planète, de grandes bandes nuageuses disposées suivant des parallèles à l'équateur (fig. 75). Elles sont très changeantes de forme, comme de coloration. Parfois, de grandes taches sont visibles, qui indiquent la présence d'un vaste échange de matériaux gazeux entre l'intérieur en fusion et l'enveloppe atmosphérique superficielle. Celle-ci accuse au couple thermo-électrique des températures très basses, de l'ordre de 135° au-dessous de zéro, et le

spectroscope nous signale dans ces couches accessibles à nos regards, la présence de gaz très légers, comme l'hélium et l'hydrogène. Cette dernière substance se combine avec le carbone pour nous donner

Fig. 75. — Vue télescopique de Jupiter.
(Dessin de l'Abbé Moreux.)

le gaz ammoniac et des carbures comme le méthane, très abondant au sein de l'atmosphère jovienne.

Jupiter est très peu penché sur son orbite (de 3 degrés environ) et c'est à peu près dans ce plan que circulent les 4 plus gros satellites accessibles à tous les instruments. Les 5 autres sont très petits et ne peuvent être aperçus qu'à l'aide de puissants télescopes. Ce sont les 4 gros satellites de Jupiter qui ont donné aux astronomes la première détermination de la vitesse de la lumière. Tour à tour, en

effet, ces satellites s'éclipsent en traversant le cône d'ombre projeté par Jupiter. Connaissant la durée de révolution des satellites, on pouvait donc, même au XVII^e^ siècle, prévoir le moment de leur disparition. Or, on avait remarqué un retard des éclipses qui semblait périodique et pouvait atteindre pour le satellite I jusqu'à 16 minutes 36 secondes. Ce fut RŒMER, astronome danois, qui, en 1675, découvrit le mot de l'énigme.

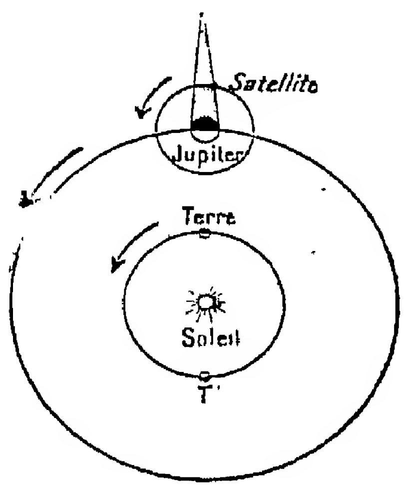


Fig. 76. — Mesure de la vitesse de la lumière.

Considérez la figure 76. Supposons un satellite entrant dans le cône d'ombre de Jupiter ; si nous notons les intervalles qui séparent le commencement de deux éclipses consécutives lorsque la Terre est voisine de Jupiter, il est évident que ces intervalles s'accroîtront à mesure que la Terre tournera autour du Soleil et augmentera sa distance à la planète. Lorsqu'elle sera venue en T', la lumière devra franchir en plus tout le diamètre de notre orbite, donc 2 fois la distance de la Terre au Soleil. Cette double distance étant parcourue en 16 m. 36 s., une simple division nous donnera le taux de la vitesse de la lumière. On obtient ainsi 300 000 km., très sensiblement. Depuis, des mesures précises ont montré que la lumière franchit 299 860 km. par seconde.

Jusqu'ici nous avons constaté que tous les corps

du Système solaire manifestent des *mouvements direct*, aussi bien de translation que de rotation. Or, le système de Jupiter commence à faire exception à cette règle. En effet, les deux derniers satellites (VIII et IX) tournent autour de leur planète dans un *sens rétrograde*.

38. Saturne, son anneau et ses 9 satellites.

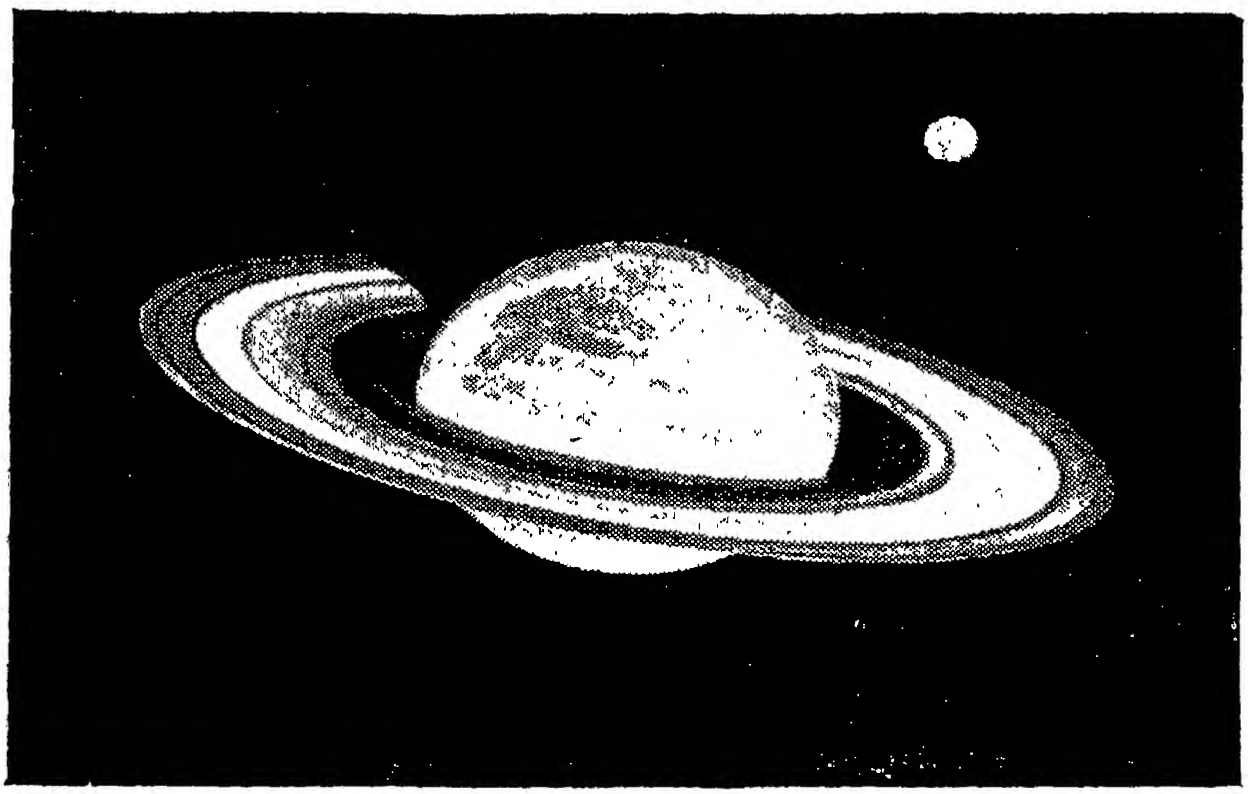


Fig. 77. — Vue télescopique de Saturne. En haut, à droite, la Terre, à la même échelle. (Dessin de l'Abbé MOREUX).

Saturne, la merveilleuse planète, entourée d'un large anneau, décrit autour du Soleil une orbite de près de 1 milliard de kilomètres de rayon en 29 années 1/2. C'est, après Jupiter, la plus grosse des

planètes, puisque son globe est 750 fois plus volumineux que la Terre (fig. 77).

Comme Jupiter, Saturne manifeste une rotation rapide de 10 heures environ, avec un aplatissement marqué (1/9). L'inclinaison de son équateur (27°) est un peu plus grande que celle de notre équateur terrestre.

La constitution physique de Saturne rappelle tout à fait celle de Jupiter : bandes à sa surface, composition analogue de son noyau très fluide et de son atmosphère ; mais, en raison de la température superficielle de cette dernière, qui atteint au moins 150 degrés au-dessous de zéro, le gaz ammoniac doit y être en partie congelé et c'est le méthane qui y prédomine.

Saturne est la planète la moins dense que nous connaissions ; sa densité n'atteint même pas celle de l'eau. Placée sur un vaste océan de même composition que les nôtres, Saturne surnagerait comme un bouchon de liège.

Mais la caractéristique la plus singulière de cette planète, c'est qu'elle est entourée d'un anneau 5 fois plus large que le diamètre de la Terre. Vu dans une forte lunette, cet anneau se décompose en plusieurs couronnes concentriques. Certaines séparations de ces multiples anneaux, comme la *division de Cassini*, sont même accessibles à des instruments de moyenne puissance. En fait, ces appendices singuliers ne sont ni gazeux, ni solides, ni liquides. Les anneaux

sont constitués de milliards de particules, dont chacune représente un satellite distinct des autres ; tous opèrent leur révolution en obéissant aux lois de KÉPLER.

La belle planète possède 9 satellites, dont *Titan*, le plus gros, offre un diamètre de près de 4 000 kilomètres, et dont le dernier circule à 13 millions de kilomètres de Saturne, dans un *sens rétrograde*, comme les satellites VIII et IX de Jupiter.

En 1904, on avait découvert à la planète un X^e satellite nommé *Thémis* et qui avait pris place après Titan, mais ce satellite n'a pas été retrouvé sur les clichés obtenus depuis ; aussi l'existence de Thémis est-elle douteuse et sa mention a disparu de la plupart des Annuaires.

39. Uranus et ses 4 satellites.

Les planètes que nous avons étudiées, sauf les asteroïdes, sont connues depuis la plus haute antiquité, mais encore au milieu du XVIII^e siècle, le Système solaire s'arrêtait à Saturne. Aussi quel ne fut pas l'étonnement des astronomes lorsque LEXELL, de Saint-Pétersbourg, reconnut dans une prétendue comète découverte accidentellement par William HERSCHEL, en 1781, une grosse planète qui circule autour du Soleil en 85 ans, à une distance de 3 milliards de kilomètres. Cette planète est pourtant visible à l'œil nu par une nuit sans Lune, mais on l'avait toujours prise pour une simple étoile. On lui

a donné le nom d'*Uranus*. C'est un globe 63 fois plus gros que la Terre et dont la constitution est analogue à celle de Jupiter et de Saturne : densité faible, peu supérieure à celle de l'eau ; atmosphère légère, dont la température est voisine de 200° au-dessous de zéro, et où apparaissent avec intensité les raies du spectre correspondant au méthane ; bandes nuageuses montrant la position de l'équateur qui offre un angle de 82° avec le plan de son orbite. La planète tourne sur elle-même dans le sens rétrograde et sa durée de rotation serait voisine de 10 heures.

Les 4 satellites d'Uranus, comme les derniers de Saturne et de Jupiter, ont un mouvement de révolution *rétrograde*.

40. Neptune et son satellite.

Cinquante ans après la découverte d'Uranus, les astronomes s'aperçurent que la planète paraissait troublée dans sa marche et obéissait mal aux lois de KÉPLER.

Ce fut ainsi qu'on soupçonna la présence dans notre Système d'une planète lointaine dont l'attraction exerçait les perturbations constatées. LE VERRIER, alors professeur de Mécanique céleste à la Sorbonne, et qui devait, peu d'années après, devenir directeur de l'observatoire de Paris, entreprit de déterminer la position de la planète troublante. Ce travail colossal, et qui ne comprend pas moins de 10 000 pages de calculs, fut achevé en onze mois.

Le 23 septembre 1846, Galle, de Berlin, à la demande de Le Verrier, dirigea sa lunette vers le point du ciel indiqué par l'astronome français et c'est ainsi qu'il aperçut la nouvelle planète à l'endroit prévu par le calcul. C'était le triomphe de la Mécanique céleste. L'astre nouveau reçut le nom de *Neptune*.

Perdu à une distance de 4 milliards 1/2 de kilomètres du Soleil, Neptune achève sa lente révolution en 165 ans et semble une réplique d'Uranus. Comme lui, il est animé d'un mouvement de rotation rapide, dans le sens *rétrograde*, et autour d'un axe très penché sur le plan de son orbite. Sur son globe 78 fois plus gros que la Terre, à peine, en raison du grand éloignement, aperçoit-on quelques bandes de nuages, mais le couple thermo-électrique nous avertit que là-bas, le froid de l'atmosphère de Neptune est voisin de 220° au-dessous de zéro, bien propre par conséquent à congeler la plupart des substances gazeuses.

Neptune possède un satellite, de même grosseur que notre Lune ; il tourne dans le même sens que les satellites VIII et IX de Jupiter, que le IX^e^ de Saturne et que les quatre lunes d'Uranus, c'est-à-dire à l'*inverse des planètes* dans leur révolution.

41. Pluton, la planète transneptunienne.

Depuis fort longtemps on avait émis l'idée qu'au-delà de Neptune devait se trouver une autre planète, mais les avis étaient partagés sur son éloignement.

La découverte de *Pluton*, par la photographie, a mis tout le monde d'accord, mais n'a satisfait personne. Avec son orbite très excentrique et l'inclinaison de

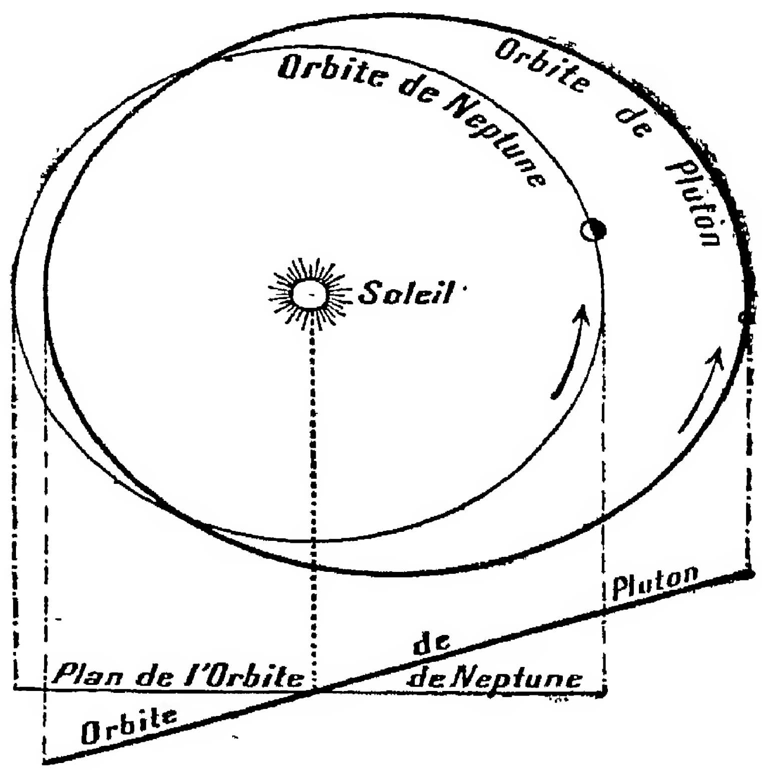


Fig. 78. — Orbites de Pluton et de Neptune.
Au dessous, angle que font ces orbites.

sa trajectoire qui est de 17° par rapport à l'écliptique, Pluton nous apparaît plutôt comme un astéroïde égaré dans une région qui, parfois, avoisine Neptune. A sa distance moyenne, ce monde, qui tient le milieu entre la grosseur de Mercure et de Mars, est éloigné d'environ 6 milliards de kilomètres du Soleil, mais à sa distance minimum, Pluton se trouve plus près que Neptune. En examinant la figure 78, vous pourriez être tenté de croire que

Neptune et Pluton peuvent se rencontrer au point où se coupent leurs deux orbites, mais ce n'est là qu'une apparence. En réalité, ces orbites étant inclinées de 17° environ l'une par rapport à l'autre, aucune collision n'est à craindre.

Pluton effectue sa révolution autour du Soleil en une longue période d'environ 250 années. Cette petite planète n'a pas de satellite.

Pour compléter le tableau de notre Système solaire, nous allons étudier, oh ! très sommairement, les comètes, les étoiles filantes et les bolides.

42. Les comètes.

De temps à autre, on voit briller dans le ciel des astres étranges animés d'une mouvement apparent tel qu'en très peu de temps, il parcourent plusieurs constellations, puis s'affaiblissent d'éclat et s'évanouissent. Ce sont les *comètes*. Celles qui sont bien visibles à l'œil nu sont assez rares, mais l'Histoire en a enregistré quelques exemples typiques.

Une *comète* est généralement composée d'une nébulosité dont le centre est assez brillant et constitue le *noyau* de la comète. Ce noyau est composé de petits corps solides qui voyagent de conserve autour du Soleil sur des orbites dont quelques-unes sont si allongées qu'on peut les confondre avec des paraboles. Généralement, ces matériaux cométaires paraissent entourés d'une atmosphère gazeuse et c'est cette dernière qui donne à la comète son aspect

nébuleux. En approchant du Soleil, les fines poussières et les molécules gazeuses plus ou moins agglomérées subissent de la part des rayons solaires, une répulsion, ce que les physiciens appellent la *pression*

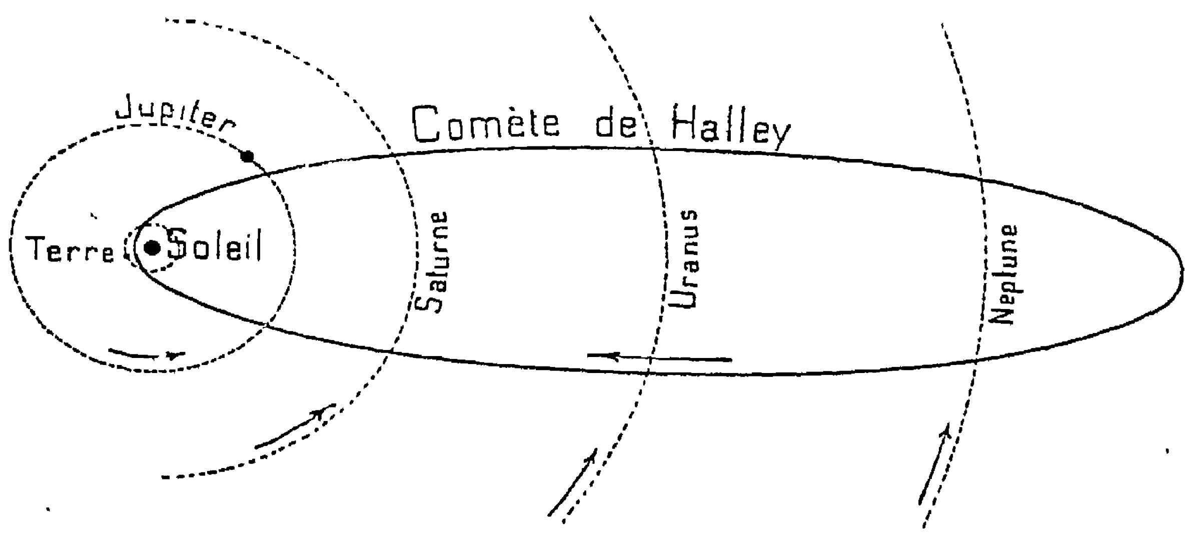


Fig. 79. — Orbite de la comète de HALLEY.

de radiation ou *pression de la lumière*, et sont rejetées au loin, à l'opposé du Soleil, sous la forme d'un long panache qui constitue la *queue* de la comète.

Ces astres chevelus — ainsi les désignait-on au moyen âge — offrent cette caractéristique qu'ils tournent indifféremment dans le sens direct ou dans le sens rétrograde autour du Soleil comme foyer et sur des ellipses dont les excentricités et les inclinaisons sur l'écliptique peuvent prendre toutes les valeurs possibles.

On connait aujourd'hui une quarantaine de comètes dont le retour a été sûrement observé. Leurs périodes de révolution s'étagent entre 3 et 164 années environ. L'une des plus connues est celle de HALLEY, qui

nous revient tous les 76 ans et dont la dernière apparition a eu lieu en 1910 (fig. 79).

Parmi les comètes les plus célèbres, il faut citer

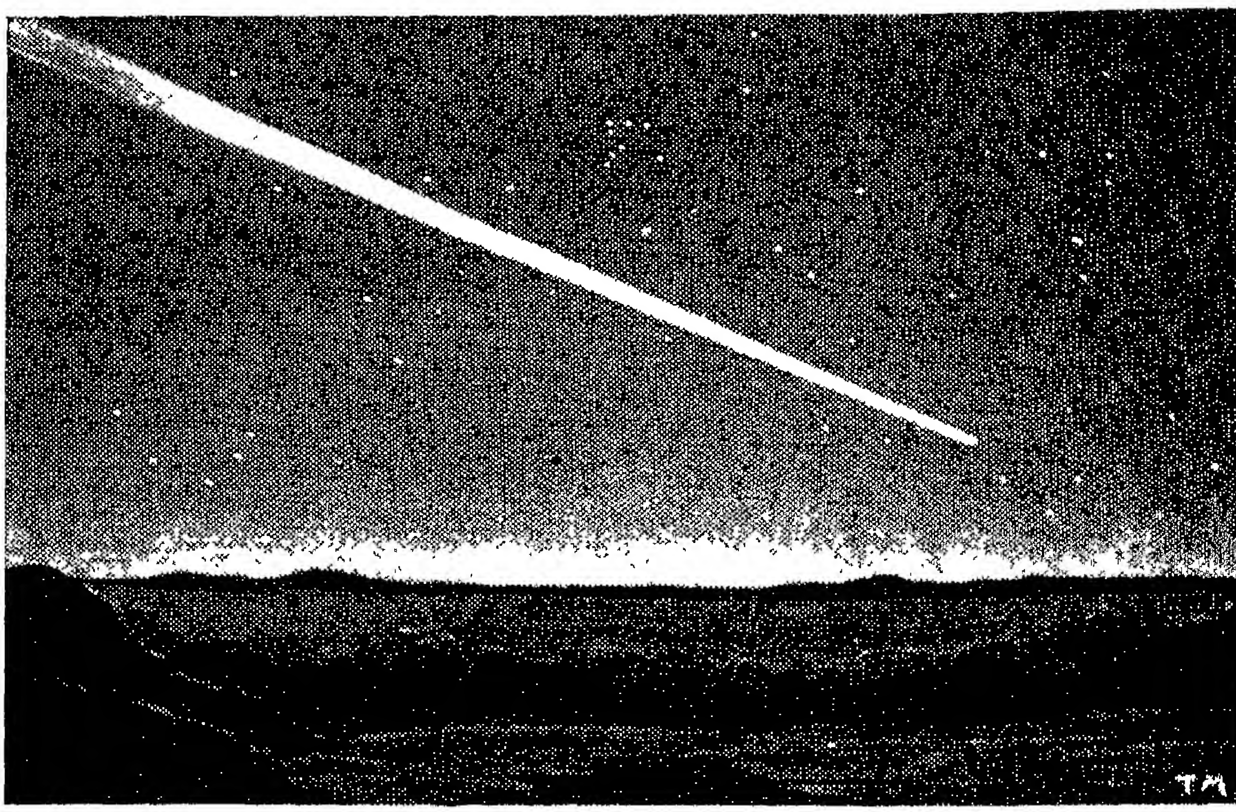


Fig. 80. — La comète de 1843, dont la queue mesurait 320 millions de kilomètres.

la *comète de Chézeaux* qui apparut en 1744. De son noyau s'échappaient six queues bien distinctes qu'on apercevait même en plein jour ; la *comète de* 1811, dont la queue mesurait 176 millions de kilomètres, un peu plus que la distance de la Terre au Soleil ; la *comète de* 1843, dont nous donnons un dessin ; sa queue étroite comme un ruban et rectiligne s'étendait sur 320 millions de kilomètres ; un vrai record qu'aucune comète n'a dépassé (fig. 80).

43. Les étoiles filantes et les bolides.

Que deviennent les comètes ? Après de longs voyages et de nombreux retours successifs vers l'astre du jour, les comètes paraissent vouées à une destruction fatale. Sous la force d'attraction qu'exerce le Soleil sur les différentes parties d'un noyau cométaire, les matériaux qui sont en tête prennent de l'avance sur ceux qui constituent l'arrière, si bien qu'après un certain temps, toute la matière de la comète se trouve dispersée sur une longue portion de l'orbite, peut-être même après de longues périodes, sur l'orbite entière et le long de la trajectoire primitive. Loin d'être homogène, cette procession de particules plus ou moins grosses manifeste ça et là des agglomérations, des maxima de densité (fig. 81).

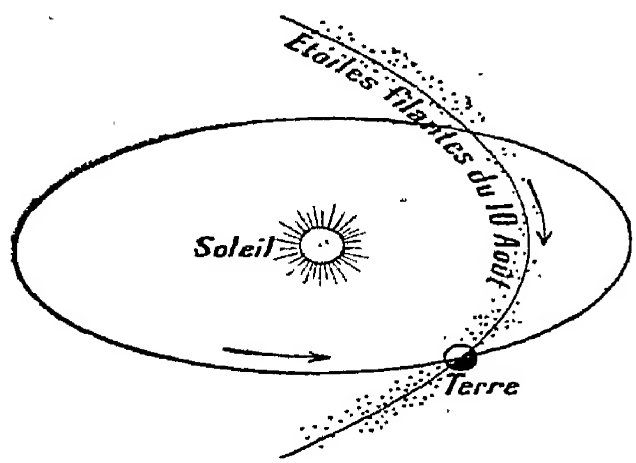


Fig. 81. — La trajectoire de certains essaims de météores coupe l'orbite de la Terre.

Maintenant, qu'une orbite de ce genre vienne à couper notre trajectoire, nous assisterons, cette nuit là, à une pluie d'étoiles filantes. Telle est l'origine des essains très connus qui coupent l'orbite de la Terre à certaines périodes fixes de l'année. Observez le ciel, par exemple, au milieu du mois d'Août,

vous verrez la voûte céleste sillonnée toute la nuit par des centaines d'étoiles filantes que les anciens avaient baptisées du nom de *Larmes de Saint Laurent* (1). Les nuits de Novembre vous procureront souvent un spectacle analogue.

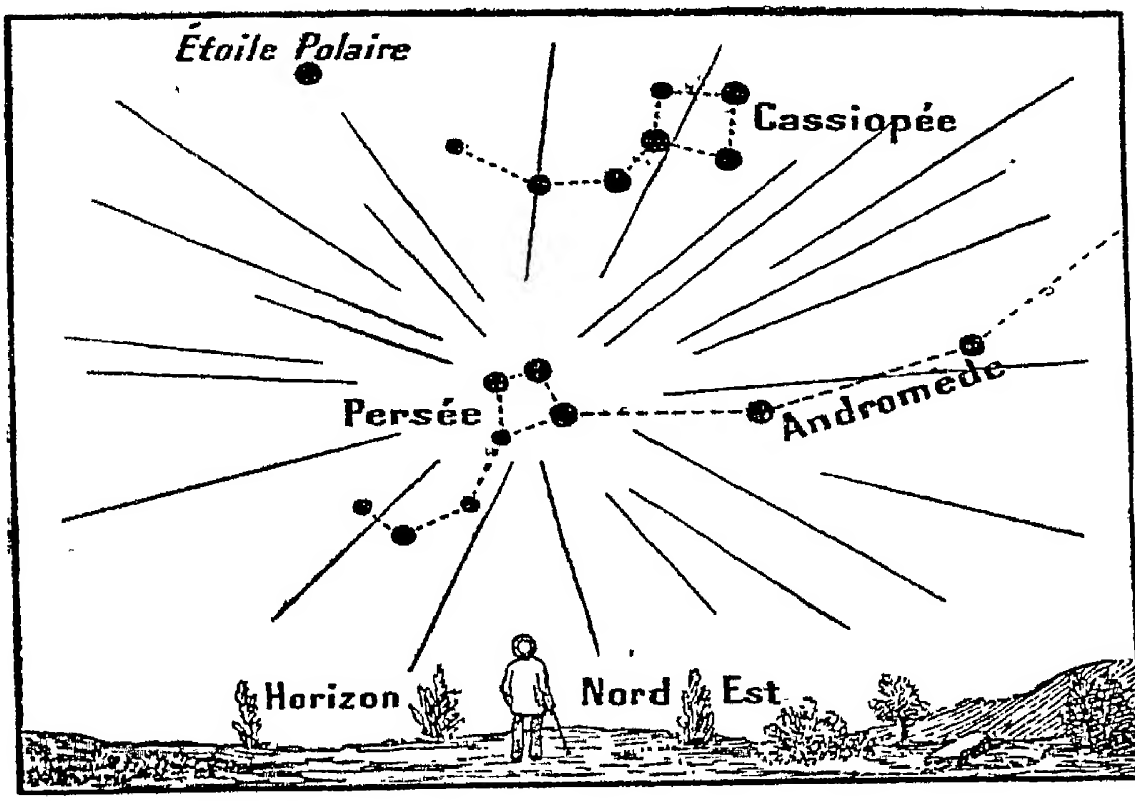


Fig. 82. — Les étoiles filantes de la mi-août semblent émaner de la constellation de Persée.

Dès lors, pour peu que vous soyez observateur attentif, vous ne tarderez pas à vous apercevoir que dans la même nuit, les trainées de ces étoiles filantes semblent toutes venir d'une même région du ciel. Les météores du milieu d'Août paraissent tous émaner de la constellation de *Persée* et c'est de là que vient leur nom astronomique de *Perséïdes*. En novembre,

(1) La *Saint Laurent* se célèbre le 10 août.

les étoiles filantes semblent provenir du *Lion* et on les appelle *Léonides*, etc...

Or, la plupart des essaims connus ont remplacé une comète désagrégée. Ainsi, les Perséïdes ne sont

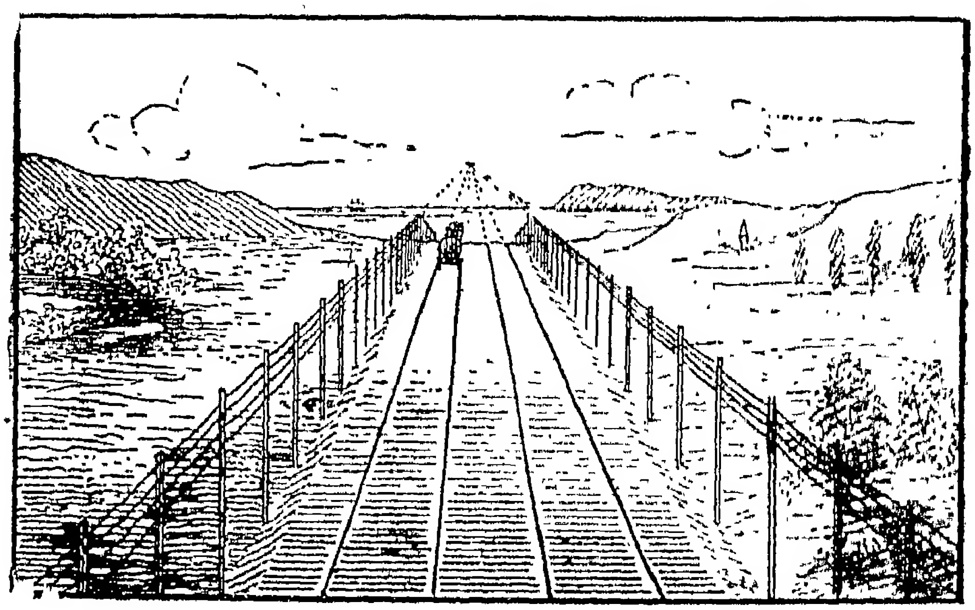


Fig. 83. — Par un effet de perspective, des lignes parallèles semblent converger vers un même point.

que les débris de la grande comète de 1862, qu'on n'a jamais revue, mais dont nous rencontrons les morceaux dispersés. La comète de Tempel (1866) nous a donné de même les Léonides.

Il reste maintenant à expliquer pourquoi les étoiles filantes paraissent toujours, lorsqu'elles sont nombreuses, diverger d'un même point du ciel, ce que nous appelons leur *radiant*, le point de rayonnement (fig. 82). Nous avons dit que les débris de comètes voyagent de conserve sur l'ancienne orbite : chaque particule marche donc parallèlement à sa voisine, si nous considérons un petit arc de sa trajectoire. Ce

flot de particules rencontrant notre atmosphère, s'échauffe et chaque météore est porté à l'incandescence (1). Si, de notre observatoire terrestre, nous assistons au phénomène, ces trajectoires lumineuses et parallèles devront nous apparaître *rayonner d'un même point*, pour la même raison que si nous regardons une voie ferrée s'éloignant de nous à perte de vue, des sillons parallèles dans un champ labouré, toutes ces lignes aboutiront à un même point qu'en dessin on nomme le *point de fuite* (fig. 83).

J'ai dit que le noyau des comètes était composé de particules plus ou moins grosses. Par particules, il faut entendre des masses qui peuvent s'échelonner entre un milligramme et des centaines, peut-être des millions de kilogs.

Les pierres qui tombent du ciel et auxquelles on donne indifféremment les noms de *bolides*, *d'aérolithes*, de *pierres météoritiques* ou de *météores*, semblent avoir la même origine que les étoiles filantes. Ce seraient peut-être des débris de comètes à courte période, qui circulaient autrefois dans le voisinage de notre orbite terrestre (2).

44. Constitution chimique des comètes, des étoiles filantes et des bolides.

Il me reste maintenant à répondre à une question que vous vous êtes sûrement posée au cours de cette

(1) Les étoiles filantes abordent la Terre avec des vitesses qui peuvent atteindre 72 kilomètres par seconde.

(2) V. à ce sujet mon ouvrage : *Origine et formation des Mondes.*

Leçon. Après avoir compris la partie astronomique qui concerne le monde cométaire, vous avez dû vous demander en quoi consistent les matières qui composent les comètes, les bolides et les étoiles filantes.

Dans les *comètes*, le spectroscope indique la présence de *carbone*, d'*oxygène* et d'*azote*, ces trois corps existant sous des états physiques différents et se combinant plus ou moins entre eux. C'est ainsi qu'on constate les raies du *cyanogène* (carbone et azote) et de l'*oxyde de carbone*. Le *sodium* s'y révèle également dès que le noyau est soumis à des températures élevées, lorsqu'il approche du Soleil.

Ceci ne nous indique pas la nature intime des particules plus grosses et nous ne sommes renseignés sur ce point que par l'analyse des bolides, en supposant que ceux-ci proviennent de la désagrégation des comètes.

Bolides ou *aérolithes* sont surtout composés de substances métalliques : *fer*, *nickel*, et souvent de matériaux terreux tels que la *silice* et les *oxydes de magnésium*. Les variétés sont d'ailleurs très nombreuses.

Quant aux *étoiles filantes*, leur composition s'apparente à celle des aérolithes. C'est ce que nous enseigne l'analyse des poussières qu'elles fournissent en tombant sur les neiges éternelles des Alpes, dans l'eau de pluie, dans les régions où la fumée des usines n'a pu apporter aucune particule ferrugineuse,

La conclusion qui se dégage de l'étude des corps célestes composant notre Système solaire est que les substances dont est façonné ce petit canton de l'Univers sont les mêmes qu'emploient nos chimistes dans leurs laboratoires. Il n'existe donc pas deux chimies, une terrestre et une céleste. Seules varient les conditions de température, de pression, de raréfaction, si bien que pour résoudre les problèmes qui se posent à l'astronome, celui-ci doit faire appel à toutes les sciences : Physique, Chimie, Géologie, Mécanique doivent apporter chacune pour leur part, une large contribution à l'œuvre qui, ainsi, leur devient commune. L'étude de l'Univers stellaire ne peut que renforcer ces conclusions que les savants d'autrefois ont trop souvent mises en doute.

44 *bis*. — Tableau général du système solaire

	NOMS des PLANÈTES	VOLUMES COMPARÉS à celui de la Terre	DISTANCE AU SOLEIL En unités astronomiques	DISTANCE AU SOLEIL En millions de kilomètres	DURÉE de la RÉVOLUTION autour du Soleil	DURÉE de ROTATION sur l'Axe	NOMBRE de SATELLITES
Planètes inférieures	Mercure....	20 fois plus petit	0,30	58	88 jours	inconnue	0
Planètes inférieures	Vénus	9/10 de la Terre	0,72	108	225 jours	inconnue	0
	La Terre...	1	1	149,5	365 jours 1/4	23h 56m	1 (La Lune)
Planètes supérieures	Mars	6 fois ½ plus petit	1,52	228	687 jours	24h 37m	2
Planètes supérieures	Jupiter	1300 fois plus gros	5,20	777	12 ans	9h 53m	9 (dont 2 rétrogrades)
Planètes supérieures	Saturne	750 fois plus gros	9,55	1500	29 ans 1/2	10h 1/4	9 (dont 1 rétrogr. et des anneaux).
Planètes supérieures	Uranus	63 fois plus gros	19,22	3000	84 ans	10h 45m	4 rétrogr.
Planètes supérieures	Neptune ...	78 fois plus gros	30,11	4500	165 ans	7h 45m (?)	1 rétrogr.
Planètes supérieures	Pluton	15 fois plus petit	39,6	6000	250 ans	inconnue	0

Tous les nombres ont été arrondis pour qu'on puisse facilement les retenir.

SEPTIÈME LEÇON

LES ÉTOILES

Nous avons dit que les étoiles sont toutes des soleils comme le nôtre, fournaises où brûlent les mêmes substances que celles qui forment notre Soleil et la Terre. A quelle distance sont-elles de nous ? C'est ce que nous chercherons bientôt, mais un coup d'œil sur un fort télescope nous fournit déjà la moitié de la réponse. Quel que soit le grossissement employé, les étoiles n'apparaissent que sous la forme de points plus ou moins lumineux, *sans diamètre apparent.* Elles sont donc très éloignées de la Terre. Leur éclat même ne nous indique pas du tout leur grosseur réelle.

45. Etoiles visibles à l'œil nu. Grandeurs ou magnitudes.

Toutefois, cet éclat différent nous sert pour une classification utile : on dit que les plus brillantes sont de *première grandeur*, celles qui viennent ensuite sont de 2e *grandeur*, puis de 3e, etc. Les 6 premières grandeurs d'étoiles sont seules visibles à l'œil nu et celles-ci sont beaucoup moins nom-

breuses qu'on ne le croit généralement. Par une nuit très pure, une bonne vue ne peut distinguer que 3 000 étoiles au-dessus de l'horizon. Comptez-en autant pour l'hémisphère opposé et vous arriverez au total de 6 000 étoiles, tout au plus, qui soient accessibles à une vue normale.

Avec les télescopes actuels, on peut observer des étoiles jusqu'à la 19e grandeur, mais à l'aide de la photographie, on atteint, avec de longues poses, jusqu'à la 21e grandeur. Le nombre des étoiles ainsi décelées devient incalculable et il faudrait les compter par milliards.

Aujourd'hui, on prend la louable habitude de substituer au mot *grandeur* appliqué aux étoiles, et qui peut prêter à confusion, celui de *magnitude,* terme anglais.

Depuis longtemps, il a été convenu que si l'on prend comme étoile-type de 1re grandeur *Aldébaran,* du Taureau, les étoiles qui seront 2 fois 1/2 moins brillantes seront dites de 2e grandeur (ou de 2e magnitude) ; celles qui seront 2 fois 1/2 moins brillantes que la 2e grandeur, seront dites de 3e grandeur (ou de 3e magnitude) et ainsi de suite.

En continuant ainsi, on verrait que les étoiles de 6e magnitude sont 100 fois moins brillantes que celles de 1re magnitude et c'est ce que l'on vérifie à l'aide de photomètres adaptés aux lunettes.

Ces grandeurs ou magnitudes indiquées par les chiffres 1, 2, 3, 4, etc., il ne faut pas l'oublier, ne

nous donnent que les grandeurs ou magnitudes *apparentes* des étoiles et non leur éclat réel, absolu, ce que les astronomes appellent les *magnitudes absolues*. Pour juger de ces dernières, il faudrait par la

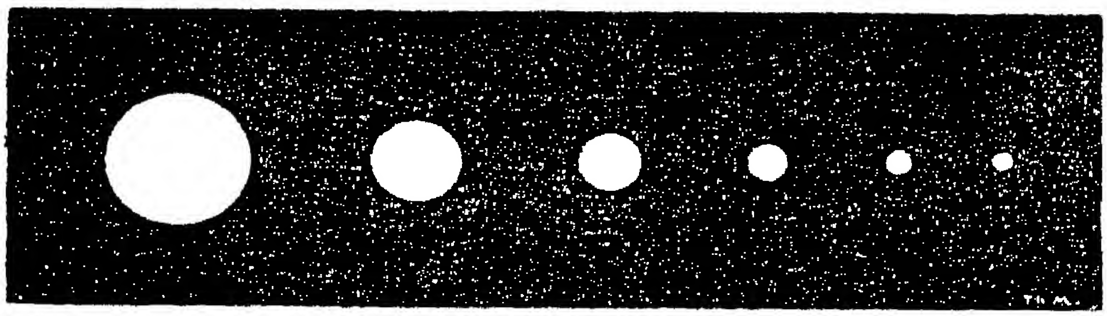


Fig. 83 *bis*. — La grandeur de ces disques donne une idée de la lumière relative fournie par les 6 premières grandeurs d'étoiles.

pensée, placer toutes les étoiles à une même distance de notre œil. Alors, les éclats seraient comparables et c'est ce qu'ont fait les astronomes modernes (1). Je prendrai comme exemple le Soleil. Il est évidemment des millions de fois plus éclatant qu'une belle étoile ; eh bien, si on le plaçait dans l'espace à la même distance conventionnelle que d'autres étoiles connues, notre majestueux soleil prendrait rang dans la 5e magnitude, juste la grandeur qui précède celle où s'arrête notre vision à l'œil nu. On dit alors que le Soleil est de 5e *magnitude absolue*. Sirius et la Polaire, placés à cette même distance, seraient toutes

(1) Pour des raisons que nous ferons bientôt connaître, les astronomes ont choisi, pour comparer les éclats des étoiles, relativement les unes aux autres, la distance de 310 trillions de kilomètres environ.

les deux de 1re grandeur *absolue*, ce qui justifie le vieux proverbe qui nous enseigne de ne point nous fier aux apparences.

46. Les Constellations, les Catalogues stellaires.

Depuis la plus haute antiquité, les hommes ont classé les étoiles par groupes destinés à faciliter le langage des observateurs qui veulent désigner telle ou telle étoile ; ces groupes sont les *constellations* : Grande Ourse, Dragon, Orion, Balance, etc. Dans chaque constellation, les étoiles portent le nom d'une lettre de l'alphabet grec : *alpha, bêta, gamma,* etc..., noms des lettres grecques qui correspondent à *a, b, g.* Quand les étoiles sont trop nombreuses, après la dernière lettre de l'alphabet grec, on s'adresse aux lettres françaises, *a, b, c, d* ; celles-ci épuisées, on met un n° d'ordre, souvent un nombre qui désigne les étoiles dans un catalogue stellaire connu.

Les plus brillantes étoiles ont reçu un nom : ainsi l'étoile la plus éclatante du Taureau (Alpha) s'appelle *Aldébaran* ; Alpha du Lion est connu sous le nom de *Régulus* ; citons encore *Altaïr*, de l'Aigle ; *Deneb*, du Cygne ; *Sirius* du Grand Chien ; *Procyon*, du Petit Chien ; *Rigel* et *Bételgeuse* d'Orion, etc...

Pour s'intéresser aux choses du ciel, il faut nécessairement connaître les constellations et les noms des principales étoiles. Procurez-vous la *carte du Ciel* que j'ai dressée à l'intention de mes lecteurs et pour vous y reconnaître essayez de la méthode

des alignements. La figure 84 vous en donnera une idée. Nous avons vu, au début de ces Leçons, comment trouver la *Polaire* en alignant les deux étoiles

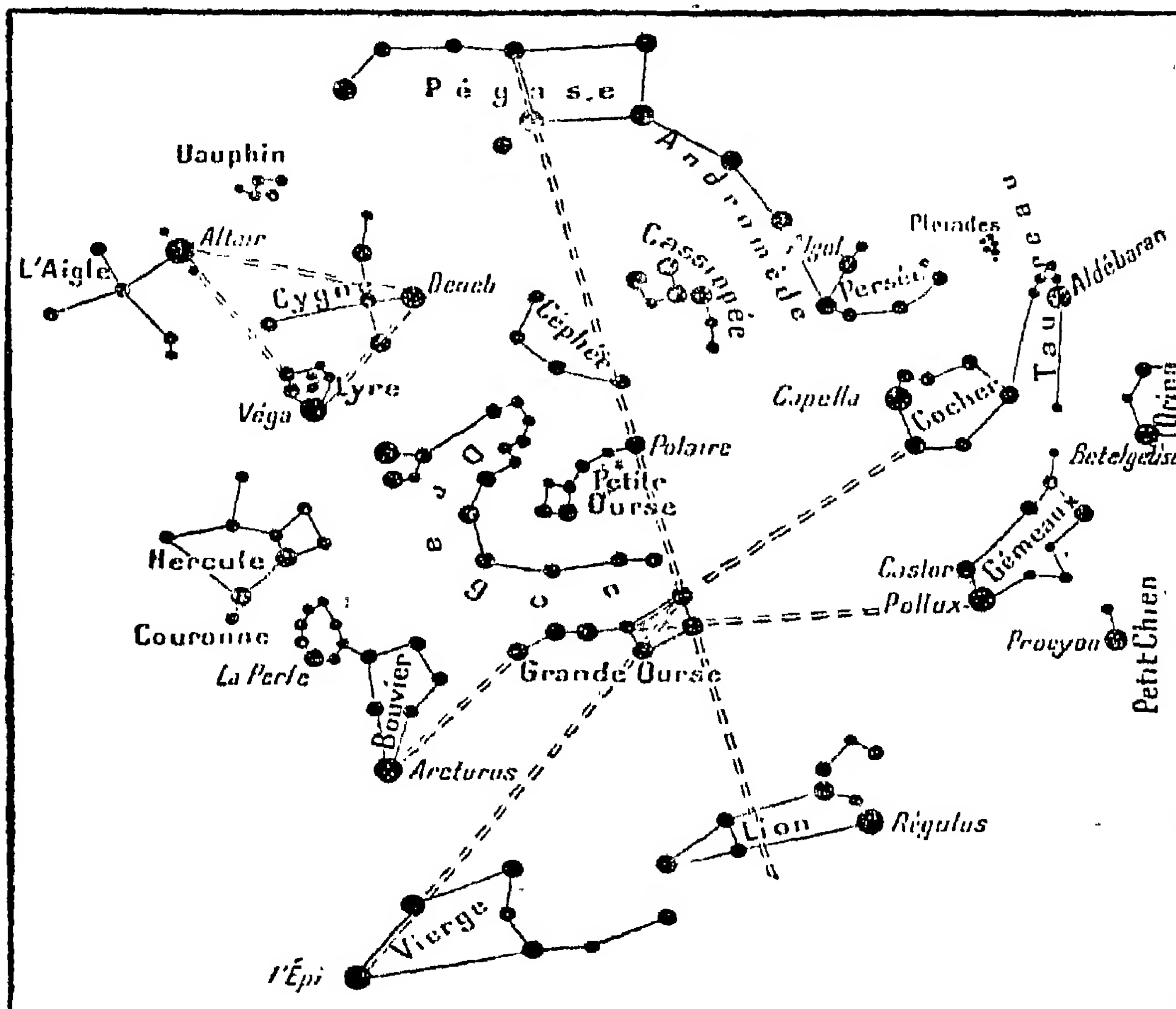


Fig. 84 montrant la méthode à employer pour reconnaître les constellations.

arrière du Chariot (fig. 1). Prolongez cette ligne au-delà de la Polaire, vous aboutirez à la constellation de *Pégase*, qui se continue par *Andromède* et *Persée*. Entre la *Petite Ourse* et *Andromède*, vous avez *Cassiopée* et *Céphée* ; sur la gauche de la carte, le *Dragon*. En bas, sur la même ligne : le *Lion* et *Régulus*.

Alignez les deux étoiles supérieures de la caisse du Chariot, prolongez leur direction, vous avez le *Cocher* avec la belle étoile *Capella* ; un peu plus bas, les *Gémeaux* avec *Castor* et *Pollux*. Dans le prolongement des deux premiers chevaux du Chariot, vous trouverez *Arcturus* et plus bas, l'*Epi de la Vierge*. A gauche de la tête du Dragon, vous verrez trois étoiles très brillantes disposées en triangle ; ce sont : *Véga* de la *Lyre*, *Deneb* du *Cygne* et *Altaïr* de l'*Aigle*.

Je n'insiste pas davantage sur cette méthode des alignements. Munis d'une carte du Ciel, en quelques nuits, vous lirez sur la voûte céleste comme sur une mappemonde terrestre.

47. Comment on a calculé la distance des étoiles.

On arrive à connaître la distance des étoiles par un procédé analogue à celui qui nous a servi pour mesurer la distance du Soleil. Mais si le principe est identique, l'application est différente. Même en plaçant aux deux extrémités d'un diamètre terrestre, deux astronomes visant une étoile au même instant, il est certain que leurs rayons visuels seraient pratiquement parallèles. Cette fois, la base est trop petite. Pour faire de bonne besogne, il faudrait transporter nos instruments en dehors de notre planète. Problème insoluble, penserez-vous. — Pas le moins du monde, car la Terre va se charger elle-

même de nous véhiculer gratis dans l'espace interplanétaire.

Considérons en effet l'orbite à peu près circulaire que décrit notre planète (fig. 85) et supposons que nous visions une étoile le 1er janvier d'une année quelconque, puis que nous fassions la même opération le 1er juillet. En 6 mois, la Terre nous aura transportés au bout opposé du grand axe de son orbite. C'est précisément ce diamètre qui va nous servir de base pour un triangle dont le sommet s'appuiera sur l'étoile en question ; et, qui mieux est, notre base est déjà mesurée. Elle vaut 2 fois la distance du Soleil à la Terre, c'est-à-dire 2 fois 149 400 000 kilomètres, soit près de 300 millions de kilomètres. C'est bien quelque chose !

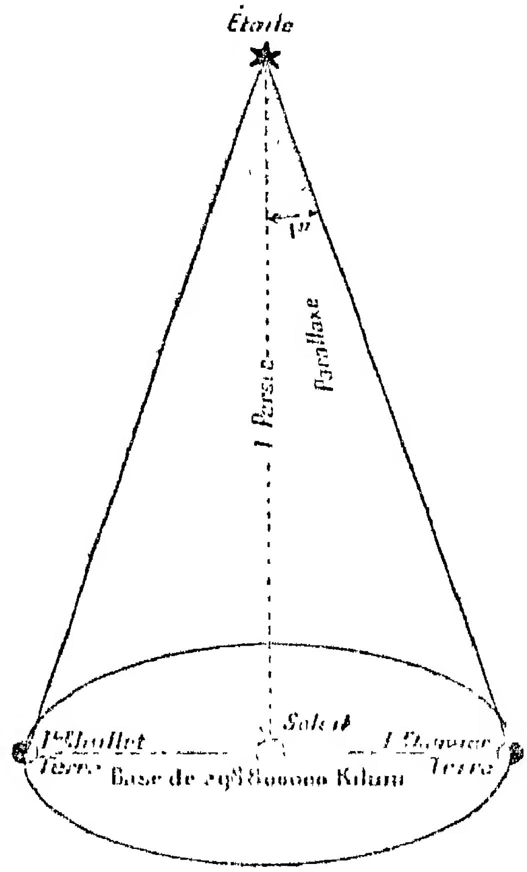


Fig. 85. — Comment on mesure la distance d'une étoile.

Connaissant les angles à la base, l'angle au sommet s'en déduira aussitôt. Voilà ce que n'ont pas manqué de faire les astronomes, et savez-vous quelle valeur ils ont trouvée pour cet angle ? Un chiffre qui est toujours inférieur à 2 secondes d'arc ! Cela ne vous

dit rien ; alors prenons deux exemples. Pour un observateur placé sur le Soleil, la Terre aurait l'épaisseur d'un cheveu vu à 2 m. 30. Or, si le même observateur était placé sur l'étoile dont nous cherchons la distance, cette même Terre qui nous paraît très grande serait invisible, parce que beaucoup trop petite ; quant au diamètre de l'orbite terrestre, celui qui nous sert de base, il aurait la même grandeur apparente qu'un cheveu placé à 1 000 kilomètres de notre œil. Cela vous donne une idée des précautions qu'il faut prendre pour mesurer un angle qui ne vaut même pas 2 secondes d'arc.

Mais, de même que la *parallaxe solaire* est l'angle qui correspond au *demi-diamètre équatorial* de la Terre, donc au rayon terrestre, de même *la parallaxe, lorsqu'il s'agit d'une étoile*, n'est pas l'angle au sommet du triangle qui aurait pour base un diamètre de notre orbite, mais le demi-diamètre.

Disons avec plus de précision que la *parallaxe d'une étoile* est l'*angle* sous lequel un observateur placé sur l'étoile apercevrait le *rayon de l'orbite terrestre* (ou son 1 /2 grand axe) vu de face, c'est-à-dire la distance du Soleil à la Terre.

J'ai dit qu'aucune étoile n'était assez proche de nous pour qu'un observateur placé sur une étoile pût apercevoir le diamètre de notre orbite sous un angle de 2 secondes, par conséquent son demi-diamètre sous un angle de 1 seconde ; donc aucune parallaxe d'étoile ne vaut même 1 seconde.

A la vérité, la parallaxe de l'étoile la plus proche n'est pas loin de cette valeur ; aussi allons-nous commencer par voir à quelle distance serait une étoile dont la parallaxe aurait exactement 1 seconde. Ce problème résolu nous donnera une façon simple de calculer la distance de toutes les étoiles dont on connaît la parallaxe.

Envolons-nous par la pensée sur une étoile dont la parallaxe aurait *une* seconde (1″) et décrivons dans l'espace une grande circonférence avec un rayon égal à la distance de l'étoile à la Terre. Il est bien évident qu'autant de fois 1 seconde sera contenue dans 360 degrés, autant de fois nous pourrons mettre bout à bout, sur notre circonférence le *rayon* de l'orbite terrestre, qui égale 149 400 000 kilomètres.

Dans 360° il y a 1 296 000 secondes. Donc

Circonférence = 1 296 000 × 149 400 000 kilomètres.

Cette multiplication effectuée, nous diviserons par 2 fois 3,14 (ou 6,28) et nous aurons la valeur du *rayon* de la grande circonférence, qui n'est autre que la *distance* de l'étoile. Nos opérations se disposeront donc ainsi :

$$\text{Distance de l'étoile} = \frac{1\,296\,000 \times 149\,400\,000}{6{,}28} = 31 \text{ trillions de kilomètres.}$$

Mais nous obtiendrions le même résultat si nous disposions les deux opérations précédentes de cette manière :

$$\text{Distance} = \frac{1\,296\,000}{6{,}28} \times 149\,400\,000 \text{ km.}$$

Effectuant la division indiquée, nous aurons :

$$\frac{1\,296\,000}{6{,}28} = 206\,265$$

d'où finalement :

Distance de l'étoile = 206 265 × 149 400 000 km = 31 trillions de kilomètres.

Vous vous demandez pourquoi j'ai effectué tout d'abord la division. Simplement parce que mis sous cette forme, le calcul indique clairement qu'une étoile qui aurait pour parallaxe 1″, serait 206 265 fois plus éloignée que notre Soleil ; elle graviterait à 31 trillions de kilomètres de la région où nous sommes. Mais aucune étoile n'est aussi près de nous. La plus proche, pendant longtemps, a été l'étoile Alpha du Centaure dont la parallaxe est de 3 /4 de seconde ou 0″,75. Cherchons sa distance ; étant donné le résultat obtenu plus haut, c'est une règle de trois et le problème se pose ainsi :

A quelle distance se trouve une étoile dont la parallaxe est de 75 centièmes de seconde, sachant qu'une étoile dont la parallaxe est de 1 seconde (ou 100 centièmes de seconde) est à 31 trillions de kilomètres.

Solution : Si une étoile qui a une parallaxe de 100 centièmes de seconde est à 31 trillions de km., une étoile qui aurait 1 centième de seconde de parallaxe serait 100 fois plus éloignée, d'après la règle

donnée au n° 10 sur le diamètre apparent et les distances, et une étoile qui aurait 75 centièmes de seconde le serait 75 fois moins ou

$$\frac{31 \times 100}{75} = 41 \text{ trillions de kilomètres (1).}$$

Ainsi, *Alpha du Centaure* est à 41 trillions de kilomètres de la Terre. Pendant longtemps cette étoile a tenu le record du rapprochement, mais depuis on a trouvé, dans cette même constellation australe du Centaure, une toute petite étoile qui est un peu plus rapprochée que la première. Sa parallaxe est de $0'',762$. Calculons sa distance en opérant avec des millièmes, comme nous l'avons fait avec les centièmes et nous aurons :

$$\text{Distance} = \frac{31 \times 1\,000}{762} = 40{,}680.$$

Cette petite étoile a reçu le nom de *Proxima Centauri*, deux mots latin qui veulent dire : *La plus proche du Centaure.* Nous voyons donc que la distance de *Proxima Centauri* est de 40 trillions 680 milliards de kilomètres. Cette étoile est donc plus rapprochée de nous que l'étoile Alpha de la même constellation ; la différence est d'ailleurs insignifiante : 320 milliards de kilomètres. Cela ne compte guère dans les abîmes du Ciel.

(1) On obtiendrait un résultat identique en utilisant le nombre 206 265 trouvé plus haut et l'on aurait $\frac{206\,265 \times 100}{75}$ ou $\frac{206\,265}{0{,}75} = 276\,353$, ce qui indique que Alpha Centaure est 276 353 fois plus éloignée de nous que le Soleil,

48. Distances de quelques étoiles.

J'ai dressé à votre intention un petit Tableau qui contient, d'après les données les plus récentes, les parallaxes de quelques étoiles parmi les plus connues. Ces parallaxes, à part celle d'Antarès, ont toutes été calculées par le procédé de triangulation indiqué plus haut. La dernière colonne vous donne le temps que met la lumière à venir de chaque étoile désignée. La lumière, possédant une vitesse de 300 000 kilomètres à la seconde, sensiblement, parcourt donc 9 468 milliards de kilomètres en une année.

Ainsi, nous voyons que pour nous venir de la plus proche étoile, la lumière voyage pendant 4 années, 26 soit 4 années et 3 mois. Le rayon lumineux qui vient frapper notre rétine lorsque nous regardons la belle étoile *Antarès*, du Scorpion, est partie de là-bas voilà plus de 360 ans, c'est-à-dire à l'époque où les Terriens comptaient leur XVI^e siècle après J.-C. Cela nous reporte au temps d'Henri III.

Malheureusement, ces comparaisons ne disent pas grand-chose à notre esprit ; en voici une qui me paraît, au contraire, bien faite pour nous donner une idée de la distance des étoiles.

Nous avons vu (V. la fin du n° 12) qu'un projectile animé d'une vitesse supérieure à 12 kilomètres par seconde s'échapperait de la Terre (1). C'est ce

(1) A condition toutefois de ne pas tenir compte de la résistance de l'air.

Distance de quelques étoiles

NOM DE L'ÉTOILE	PARALLAXE ANNUELLE	DISTANCE		
		EN TRILLIONS de kilomètres	EN ANNÉES de lumière	EN PARSECS
Proxima *du Centaure*	0″,762	40tr., 68	4,26	1,31
Alpha *du Centaure*	0″,756	41 , 00	4,29	1,32
Sirius *du Grand Chien*	0″,371	83 , 24	8,8	2,7
Procyon *du Petit Chien*	0″,291	106 , 05	11,2	3,4
Altaïr *de l'Aigle*	0″,204	148 , 30	15,7	4,8
Véga *de la Lyre*	0″,124	248 , 49	26,3	8,0
Arcturus *du Bouvier*	0″,080	387 , 00	40,7	12,5
Capella *du Cocher*	0″,063	492 , 00	51,7	15,9
Aldébaran *du Taureau*	0″,057	540 , 76	57,1	17,5
Betelgeuse *d'Orion*	0″,017	1829 , 00	191,5	58,8
Antarès *du Scorpion*	0″,009	3444 , 00	361,8	111,0

moyen que les « astronautes » rêvent d'employer pour visiter le Système solaire. Imaginons que leur « astrobus » soit lancé à la vitesse initiale de 15 kilomètres par seconde, nos voyageurs atteindraient l'orbite de Pluton au bout de 12 années. Supposons qu'après cet exploit, ils nourrissent l'ambition d'atterrir sur une planète appartenant au système de *Proxima Centauri* ; savez-vous combien il leur faudrait d'années ? Le calcul est très facile. Puisque nous leur supposons une vitesse de 15 km/sec., cela signifie qu'ils vont 20 000 fois moins vite que la lumière. Comme celle-ci met 4,26 années pour nous venir d'aussi loin, l'astrobus n'arriverait au terme du voyage qu'au bout de 4,26 × 20 000 = 85 200 ans.

85 200 ans pour atteindre le point de l'espace où gravite la plus proche étoile ! voilà la réponse. Celle-ci nous indique clairement que le rêve est irréalisable...

Autre remarque : la distance de l'étoile du Centaure est à peu près l'intervalle moyen qui sépare les étoiles entre elles, tout au moins les systèmes stellaires, car nous verrons que beaucoup d'étoiles sont doubles ou triples. Cela vous donne une petite idée de l'étendue de l'Univers où circulent des centaines de milliards d'étoiles.

En consultant le Tableau des distances de quelques étoiles vous pouvez voir que la parallaxe de Bételgeuse est de 17 millièmes de seconde, seulement. On conçoit qu'à partir de ce moment, les résultats devien-

nent très incertains, et nos procédés trigonométriques de triangulation ne peuvent espérer nous donner les distances d'étoiles plus éloignées que 425 années-lumière. Pour pouvoir affirmer que des étoiles ont une parallaxe de 9 millièmes de seconde, comme Antarès, il faut tabler sur d'autres méthodes. Nous y reviendrons (V. nº 52).

49. Aucune étoile n'est fixe, pas même notre Soleil.

Les anciens avaient donné le nom de *fixes* aux

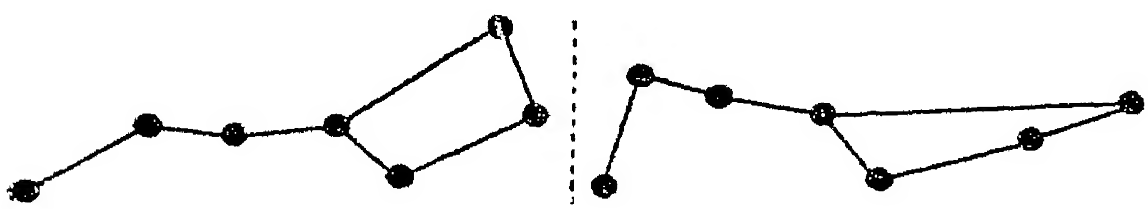


Fig. 85 *bis*.

La Grande Ourse (forme actuelle). La Grande Ourse dans 100 000 ans.

étoiles, parce qu'ils ne disposaient pas d'instruments suffisants et capables de leur montrer qu'en réalité, toutes les étoiles sont en mouvement dans l'espace. Mais ces points lumineux sont si éloignés de notre œil que les *mouvements propres* des étoiles ne peuvent être décelés à l'œil nu et il faudra des milliers d'années pour que nos constellations soient déformées (fig. 85 *bis*). On connaît actuellement 50 étoiles dont le mouvement propre sur la sphère céleste dépasse 2 secondes d'arc par an, et 20 000 autres qui se déplacent de plus de 1 seconde. Il faut donc des siècles

pour que ces minimes déplacements soient perceptibles sur une carte céleste. En fait cependant, ils ne sont minimes qu'en apparence, car la moyenne des vitesses réelles est de 35 kilomètres par seconde environ. Mais ce chiffre moyen est dépassé par de nombreuses étoiles. Nous en connaissons même deux très faibles qui volent à la vitesse fantastique de 600 kilomètres par seconde !

En présence d'un phénomène aussi général, on s'est demandé si notre Soleil qui, lui aussi, est une étoile, n'était pas animé d'un mouvement propre, mais ici le problème est hérissé de difficultés. Puisque toutes les étoiles sont en mouvement, à quel point fixe en effet pouvons-nous rapporter nos mesures ? C'est William Herschel qui le premier esquissa la solution de ce problème ardu. Voici une comparaison qui vous aidera à comprendre comment s'y sont pris les astronomes pour mettre en évidence le mouvement du Soleil et la direction de l'espace dans laquelle il nous entraîne.

Lorsqu'une automobile vous emporte sur une route bien droite et toute bordée d'arbres, vous avez pu remarquer que, par un simple effet de perspective, les arbres vers lesquels vous vous dirigez semblent s'écarter, tandis que ceux que vous laissez derrière vous paraissent au contraire se rapprocher. Tel doit être le cas pour les étoiles, si le Soleil nous emporte en un grand voyage interastral. Des milliers d'observations, on a pu effectivement conclure que le

Soleil est animé d'un mouvement propre de 20 kilomètres à la seconde, dans la direction d'un point du Ciel proche de Véga, de la Lyre (fig. 86). Ce point a été nommé l'*apex* du Soleil (du latin : *apex*, sommet).

Comme le Soleil emmène avec lui tout son cortège de planètes, y compris la Terre, il s'ensuit que nous décrivons dans l'espace une sorte d'hélice allongée, si bien que nous ne repassons jamais au même endroit. Au taux dont nous volons, notre Soleil nous transportera dans la région où gravite Véga en l'espace de 250 000 ans... ; seulement, comme toutes les étoiles se meuvent, Véga aura elle-même changé de place et ne sera plus là pour nous recevoir.

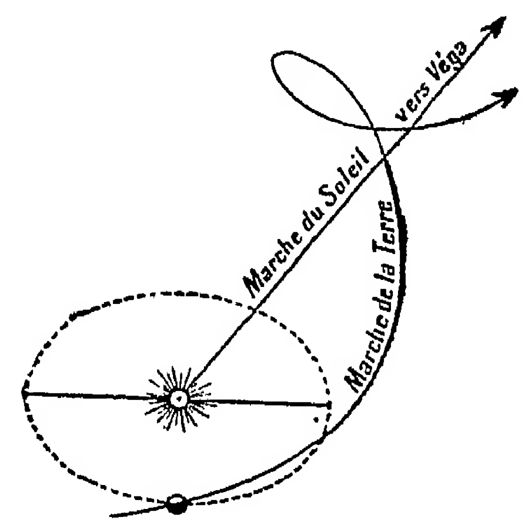


Fig. 86. — Trajectoire de la Terre, du fait de la translation du Soleil dans l'espace.

Voyageons-nous en ligne droite ou suivant une trajectoire incurvée ? Nos mesures sont trop récentes pour que nous puissions répondre à cette question, mais il est plus probable que notre Soleil tourne autour d'un centre idéal situé dans la Voie lactée à une distance de 60 mille années-lumière ou quelque chose d'approchant.

50. Etoiles doubles et multiples.

Certaines étoiles qui paraissent simples à l'œil nu se dédoublent avec des grossissements suffisants, c'est-à-dire qu'elles se montrent comme deux étoiles

Fig. 87.
A gauche : l'étoile double *Dzéta* Grande Ourse.
Au centre : une étoile quadruple.
A droite : l'étoile sextuple *Thêta* Orion.

distinctes dans le champ de la lunette. Il se peut que dans ce cas les deux étoiles en question soient très éloignées et qu'elles se projettent sur le même endroit du Ciel par un effet de perspective, mais très souvent aussi, elles sont liées par l'attraction, soit que la plus petite tourne autour de la plus grosse, ou que les deux astres tournent autour de leur centre de gravité commun. Parfois, au lieu d'un système binaire, on aperçoit un système triple. On connaît même des systèmes quadruples comme *Epsilone* Lyre, ou sextuple comme *Thêta* Orion (fig. 87). Ces systèmes posent aux astronomes des problèmes de Mécanique céleste extrêmement difficiles à résoudre.

Les étoiles binaires forment à elles seules plus de la moitié des astres qui peuplent la voûte céleste.

51. Les Etoiles variables.

On connaît un grand nombre d'étoiles dont l'éclat n'est pas constant ; c'est pour cette raison que ces étoiles sont dénommées *variables*.

On s'est rendu compte que, pour certaines variables, la cause doit en être recherchée dans le fait que ces étoiles possèdent un compagnon obscur qui, dans son mouvement de révolution, éclipse en partie le Soleil autour duquel il gravite.

Mais le plus souvent la variation est due à des modifications brusques de la constitution physique et chimique de l'astre (éruption, taches à la surface, changement de volume). Lorsque ces étoiles changent d'éclat en un laps de temps qui est toujours le même, cette durée constitue *la période* de la variable et cette période plus ou moins longue nous fournit la caractéristique de l'étoile.

Mira Ceti (la Merveilleuse de la Baleine) manifeste une variation dont la période est de 11 mois, tandis que celle de *Bêta* Lyre est de 13 jours et celle de *Êta* Aigle est de 7 jours seulement (voir la fig. générale 88).

Il existe donc des *variables* à *courte période* et d'autres à *longue période*. Au reste, toutes les étoiles ressemblent plus ou moins à notre Soleil qui, lui également, manifeste une périodicité de 11 années, due à des changements dans sa constitution physique.

52. Les Céphéïdes. Leur importance pour déterminer les parallaxes stellaires.

Il existe toute une classe d'étoiles variables à courte période qui ont pris dans l'Astronomie moderne

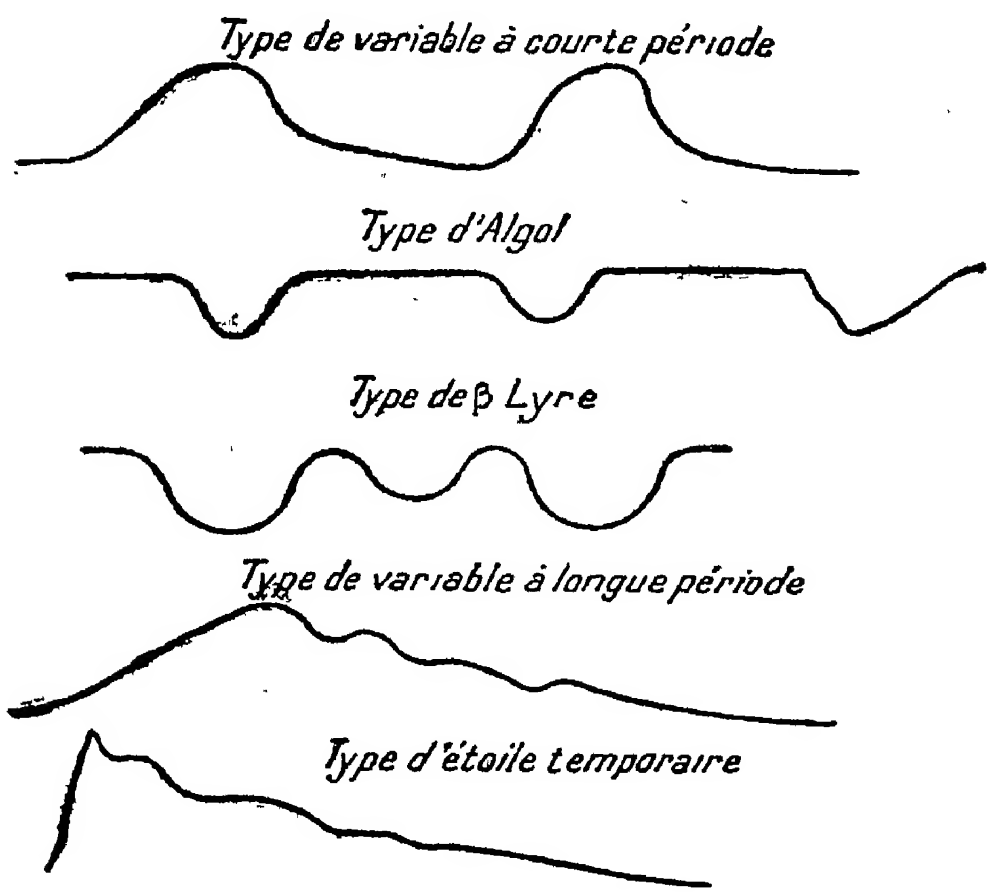


Fig. 88. — Courbes de lumière d'étoiles variables.

une importance capitale, parce qu'elles nous fournissent un moyen sûr et élégant d'obtenir des distances stellaires que nos méthodes trigonométriques seraient impuissantes à nous procurer.

Ces variables dont les périodes sont comprises entre un jour et un mois, environ, ont reçu le nom de *Céphéïdes*, parce que le type de ces étoiles est

Delta Céphée. Cet astre visible à l'œil nu manifeste en moins de 2 jours des variations d'éclat de près d'une grandeur : de la magnitude 4,4 il monte à la magnitude 3,6 ; puis son éclat baisse plus lentement pendant un peu plus de 3 jours, et le même phénomène se renouvelle avec la précision d'un métronome battant la mesure (fig. 89) ou celle d'un spiral de montre qui se resserre et se détend.

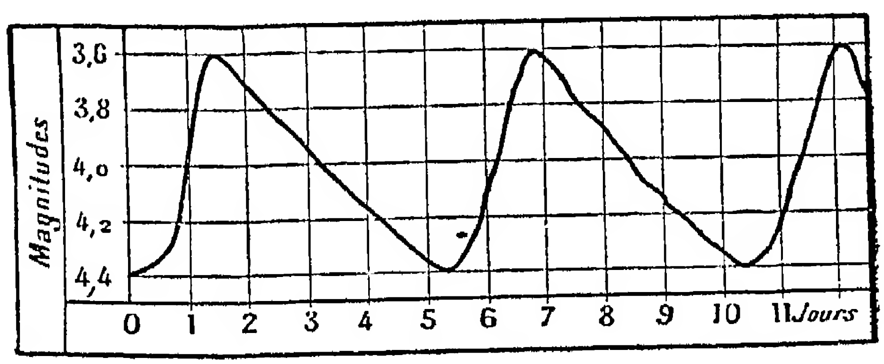


Fig. 89. — Courbe de luminosité de *Delta* Céphée.

La courbe de luminosité de *Delta* Céphée ressemble en petit à celle de l'activité de notre Soleil, et nous sommes d'autant plus certains que ces variations sont dues à un état physique changeant régulièrement que l'étoile passe du blanc au rouge lorsqu'elle diminue d'éclat. La période de *Delta* Céphée est de 5 jours 8 heures, et si nous trouvions dans le ciel une étoile dont la variation serait la même, nous pourrions être assurés que nos deux variables seraient identiques. En fait, l'expérience a confirmé cette manière de voir et les corollaires qui en résultent ont rempli d'aise les astronomes. Pourquoi ? demanderez-vous. — Parce qu'ils ont vu là une *méthode*

nouvelle pour calculer la distance de ces sortes de variables.

Mais ici, il nous faut faire une digression et revenir sur un sujet que nous avons à peine effleuré au début de cette Leçon. Commençons par un tout petit problème de Physique. Je suppose que nous ayons en main deux lampes électriques de poche qui soient identiques et qui fournissent la même intensité lumineuse. J'en place une à 10 mètres de votre œil et je vais porter l'autre 3 fois plus loin, soit à 30 mètres. Evidemment, la lampe placée à 30 mètres vous éclairera moins que celle qui a été mise à 10 mètres. De combien ? La Physique va nous répondre.

L'*éclat apparent* d'une source lumineuse, l'éclairement qu'elle donne, si vous préférez, varie *en raison inverse du carré de la distance*. La 2^e lampe étant 3 fois plus loin, vous éclairera donc $3 \times 3 = 9$ fois moins que la première. Maintenant, faisons le problème inverse. Je place la 1^{re} lampe à 10 m. et j'emporte l'autre en un endroit dont vous ne connaissez pas la distance. Pouvez-vous, sans vous déranger, me dire à combien de mètres je l'ai déposée ? Certainement, il vous suffira de mesurer son intensité lumineuse et de la comparer à celles de la 1^{re} lampe placée à 10 mètres. Les photomètres sont faits pour cela, à condition que vous sachiez vous en servir. Si votre instrument vous dit par exemple que votre 2^e lampe vous éclaire 16 fois moins que la 1^{re}, vous

pouvez conclure que la 2e lampe a été placée 4 fois plus loin donc à 40 mètres, car $16 = 4 \times 4$.

La solution ne change pas si nous l'appliquons aux étoiles. On a mesuré la distance de *Delta Céphée*, qui n'est pas très grande : 130 années-lumière. Nos moyens ordinaires vont jusque-là. Observons maintenant une *Céphéïde* identique dans un autre endroit du Ciel ; comment reconnaitrons-nous sa distance ? Usons du procédé qui vient de nous servir. Nous adaptons un photomètre à notre télescope et nous prenons les intensités lumineuses des deux Céphéïdes. Si nous trouvons que l'éclat de la seconde (sa grandeur ou *magnitude apparente*) est 25 fois moindre que celui de la première, comme leur *éclat réel est le même*, il est évident que l'étoile visée se trouve à une distance 5 fois plus grande que *Delta Céphée* ; cette distance vaut donc : $5 \times 130 = 650$ années-lumière.

C'est là un résultat d'autant plus intéressant que la méthode trigonométrique serait incapable de nous renseigner sur la distance d'une étoile aussi éloignée. Maintenant que vous avez suivi le mécanisme de la méthode pour ce cas très particulier, nous allons voir comment les astronomes sont arrivés à l'appliquer d'une façon plus générale.

Vous vous rappelez qu'au commencement de cette Leçon, je vous ai dit, à propos des grandeurs ou magnitudes d'étoiles, qu'on était convenu, pour établir des comparaisons valables, de placer les étoiles à une même distance. Il nous faut maintenant

préciser et fixer une *unité de distance*. Le rayon de l'orbite terrestre est un peu petit pour arpenter les champs stellaires. La distance d'une étoile, avons-nous dit, qui aurait une parallaxe de 1 seconde vaudrait 206 265 rayons de notre orbite. Voilà une unité très convenable : on l'appelle le *parsec* (abrégé de parallaxe-seconde).

Le parsec *est donc la distance d'un point de l'espace d'où l'on verrait le rayon de l'orbite de la Terre (demi-grand axe) sous l'angle de* 1 *seconde.*

Le *parsec* vaut environ 31 trillions de kilomètres, ce qui correspond à 3,26 années-lumière. Donc 10 *parsecs* vaudront : 10 × 3,26 = 32,6 années-lumière.

Finalement, c'est à 10 parsecs que les astronomes ont convenu de ramener la distance des étoiles pour comparer leur éclat. De là, cette nouvelle définition :

On appelle magnitude absolue (1) *d'une étoile l'éclat qu'elle aurait, ou la magnitude sous laquelle elle nous apparaîtrait si nous la plaçions à* 32,6 *années-lumière, c'est-à-dire à* 10 *parsecs.*

Par nos photomètres, nous savons que notre Soleil placé à 10 parsecs, deviendrait une faible étoile de 5e grandeur (ou magnitude). Voilà un chiffre que nous nous garderons bien d'oublier, car il va nous servir désormais en plus d'une circonstance.

En étudiant un grand nombre de *Céphéides* dans

(1) *Eclat absolu* vaudrait beaucoup mieux et prêterait moins à confusion. J'emploierai quelquefois cette expression dans la suite à la place de *grandeur* ou *magnitude absolue*.

un amas d'étoiles, donc de *Céphéïdes* qui sont toutes à la même distance de nous, on s'est aperçu qu'il existait une *relation constante entre leur période et leur éclat réel.* Ainsi, lorsque la période est de 1 jour, nous savons que l'éclat réel est 100 fois supérieur à celui du Soleil, 400 fois plus grand pour une période de 4 jours ; 1 500 fois plus fort pour une période de 10 jours, etc.

Supposons maintenant une toute petite étoile du genre *Céphéïde*, de 6e grandeur ou magnitude *apparente*, juste visible à l'œil nu; si, en l'observant, je constate que sa période est de 1 jour, je sais par là même qu'elle est 100 fois plus lumineuse que notre Soleil et cela suffit pour connaître sa distance.

En effet, si je l'amenais à la distance-type de 10 parsecs (32,6 années-lumière) où le Soleil, placé lui-même à cette distance, a une *magnitude absolue* de 5, j'aurais la *magnitude absolue* de mon étoile. D'autre part, puisque, mise à côté du Soleil, elle doit posséder 100 fois plus d'éclat, j'en conclus qu'en la rapprochant ainsi, elle a gagné 5 magnitudes (d'après ce que nous avons vu au no 45). Donc, sa *magnitude absolue* est 1 (1re grandeur). J'en conclus aussitôt que je l'ai rapprochée de 10 fois, puisque son *éclat réel* vaut maintenant 100 fois son *éclat apparent.* Comme je l'ai mise par la pensée, à côté du Soleil, c'est-à-dire à 10 parsecs, sa distance réelle est donc de 10 fois 10 parsecs, donc de 100 parsecs ou $32{,}6 \times 10 = 326$ années-lumière.

La parallaxe de l'étoile est donc de $0'',01$, soit un centième de seconde. Cette méthode a permis de calculer la distance de *Céphéïdes* situées dans des amas ou des nébuleuses éloignées de 6 000 parsecs, donc ayant des parallaxes de $0'',000\,168$, c'est-à-dire d'étoiles situées à 6 000 fois 31 trillions de kilomètres, ce qui correspond à 19 560 années-lumière.

53. Les Etoiles nouvelles ou temporaires.

On peut ranger parmi les étoiles variables des étoiles qui apparaissent brusquement dans le ciel, puis s'éteignent lentement. Le plus souvent, il s'agit d'étoiles faibles qui augmentent subitement d'éclat et deviennent des astres de 1re grandeur en très peu de jours : ces *étoiles temporaires* sont habituellement désignées sous le nom de *Novæ*, *étoiles nouvelles*.

On a cru pendant longtemps que ces apparitions soudaines résultaient de la collision de deux astres, mais il est plus probable que le phénomène est dû à l'explosion d'un soleil ou à la pénétration d'une masse stellaire dans une nébuleuse, idée que j'ai émise dès 1922 (1).

Depuis la fameuse *étoile nouvelle* observée par TYCHO-BRAHÉ en 1572, dans Cassiopée, on a enregistré 42 Novæ, dont plusieurs ont été remarquables. Je me contenterai de citer la *Nova* de Persée (1901); celle des Gémeaux (1912), de l'Aigle (1918), du Cygne

(1) Voir mon ouvrage : *Origine et Formation des mondes.*

(1920), de l'Atelier du Peintre (1925) et enfin 2 *novæ* apparues en 1936.

54. Constitution chimique et physique des étoiles.

Si nous vivions des milliards d'années, nous pourrions assister à la naissance, au développement et à la mort d'une étoile. Ce rêve fantastique est néanmoins réalisé du fait que le ciel nous offre tous les types d'étoiles aux différents stades de leur évolution.

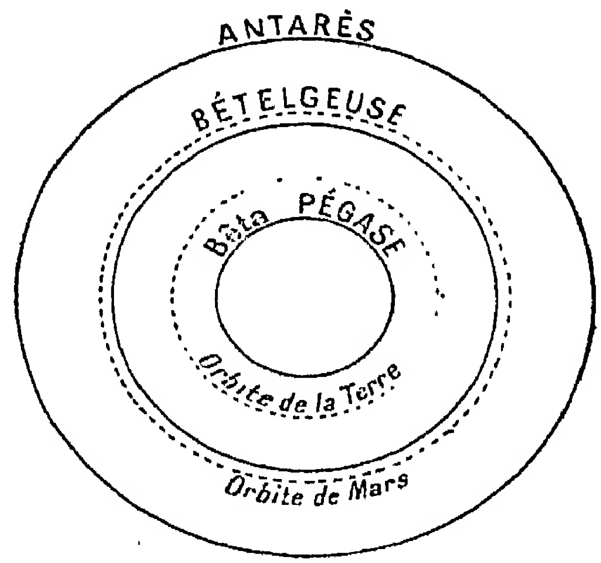


Fig. 90. — Dimensions de quelques étoiles géantes.

Les étoiles naissent sûrement de la contraction des nébuleuses. A leur début, alors que la température commence à s'accroître lentement, les étoiles sont *rouges*. Ce sont d'énormes bulles de gaz dont la densité moyenne est beaucoup plus faible que celle de l'air que nous respirons. Par des méthodes optiques fondées sur le principe des interférences lumineuses, on est parvenu assez récemment à mesurer le diamètre d'étoiles de ce genre. Si l'on plaçait ces étoiles *géantes* au centre de notre système solaire, l'étoile *Bêta Pégase* engloberait l'orbite de Vénus ; *Bételgeuse*, d'Orion, s'étendrait au delà de l'orbite de la Terre ; son diamètre atteint 403 millions de

kilomètres, ce qui lui donne 27 millions de fois le volume de notre Soleil. *Antarès*, du Scorpion, est encore plus gros. Placé au centre du système solaire, ses bords dépasseraient l'orbite de Mars d'environ 100 millions de kilomètres (fig. 90).

Voilà le type des étoiles jeunes dont la température ne dépasse guère 3 000 degrés. Mais la contraction aidant, la chaleur augmente du double et les étoiles deviennent *jaunes* comme *Tau Persée*, où le spectroscope révèle l'hydrogène en abondance.

Le stade suivant tire sur la couleur *blanche*, comme *Deneb* du Cygne, dont la température est de 10 000 degrés.

Rigel, d'*Orion*, est encore plus chaud (15 000°) et nous offre le type extrême de la partie ascendante de l'évolution stellaire.

Maintenant, la descente va commencer et les mêmes couleurs se présenteront, mais en sens inverse. Après *Sirius* et *Procyon*, dont les températures sont encore de l'ordre de 10 000 à 8 000 degrés, nous arrivons à des étoiles *jaunes* du genre de notre Soleil, dont la surface accuse 6 000 degrés en moyenne. Pour les étoiles, ce n'est plus la fougue de la jeunesse, mais l'âge mûr qui, déjà, annonce le déclin. Peu à peu, notre Soleil se refroidira, rentrera dans la classe des étoiles *rouges* ; mais, cette fois, la contraction a condensé toutes les substances et ces étoiles rouges sont des *naines*. On en connaît qui sont à peine

aussi grosses que la Terre. Il va sans dire que leur densité est considérable.

Cette classe, qui s'achemine lentement vers la mort, aboutira finalement à des astres qui s'éteindront tout à fait, corps obscurs réduits à traîner leurs cadavres refroidis au sein des plages étincelantes de la Voie lactée.

55. Méthode spectroscopique pour déterminer les distances stellaires.

En opérant un classement rationnel des étoiles d'après leurs spectres, on a trouvé que l'intensité de certaines raies varie suivant la magnitude absolue. Ainsi, pour déterminer la magnitude absolue d'une étoile, plus n'est besoin de passer par un intermédiaire, l'examen de son spectre nous donne exactement le renseignement désiré. Une fois en possession de la magnitude *absolue*, il ne reste plus qu'à mesurer à l'aide d'un photomètre, adapté au télescope, la magnitude *apparente* de l'étoile pour connaître sa distance.

Cette méthode récente s'emploie pour les étoiles qui ne sont pas du genre Céphéide, mais au fond, dans les deux cas, le principe est le même.

Ainsi, messager fidèle, chaque rayon lumineux parti des lointaines profondeurs du Ciel, non seulement nous renseigne sur le passé de l'étoile qui nous l'envoie, mais il vient encore inscrire lui-même sur nos plaques photographiques l'instant où il a com-

mencé son long voyage à travers les steppes glacés des espaces interstellaires.

Lorsque FRAUENHOFER, de Munich, parvenait à compter péniblement environ 600 raies dans le spectre de la lumière émanée du Soleil, il ne pouvait soupçonner qu'en 1915, juste un siècle après sa découverte, les physiciens-astronomes en compteraient plus de 20 000, dont chacune vient nous apporter, sur la nature des astres, les plus merveilleuses et les plus incroyables révélations.

55 *bis*. La plus proche étoile.

Nous avons vu au n° 48 que la plus proche étoile était *Proxima* du Centaure. Depuis la dernière édition de cet ouvrage, les astronomes ont trouvé une étoile un peu plus proche qui porte le n° 424 Wolf, dans la constellation de la Vierge. Cette étoile offre une parallaxe de $0'',89$, ce qui lui donne une distance de 34,7 trillions de kilomètres ; sa lumière nous parvient en 3,67 années-lumière (3 ans 8 mois), soit une distance de 1,1 parsec.

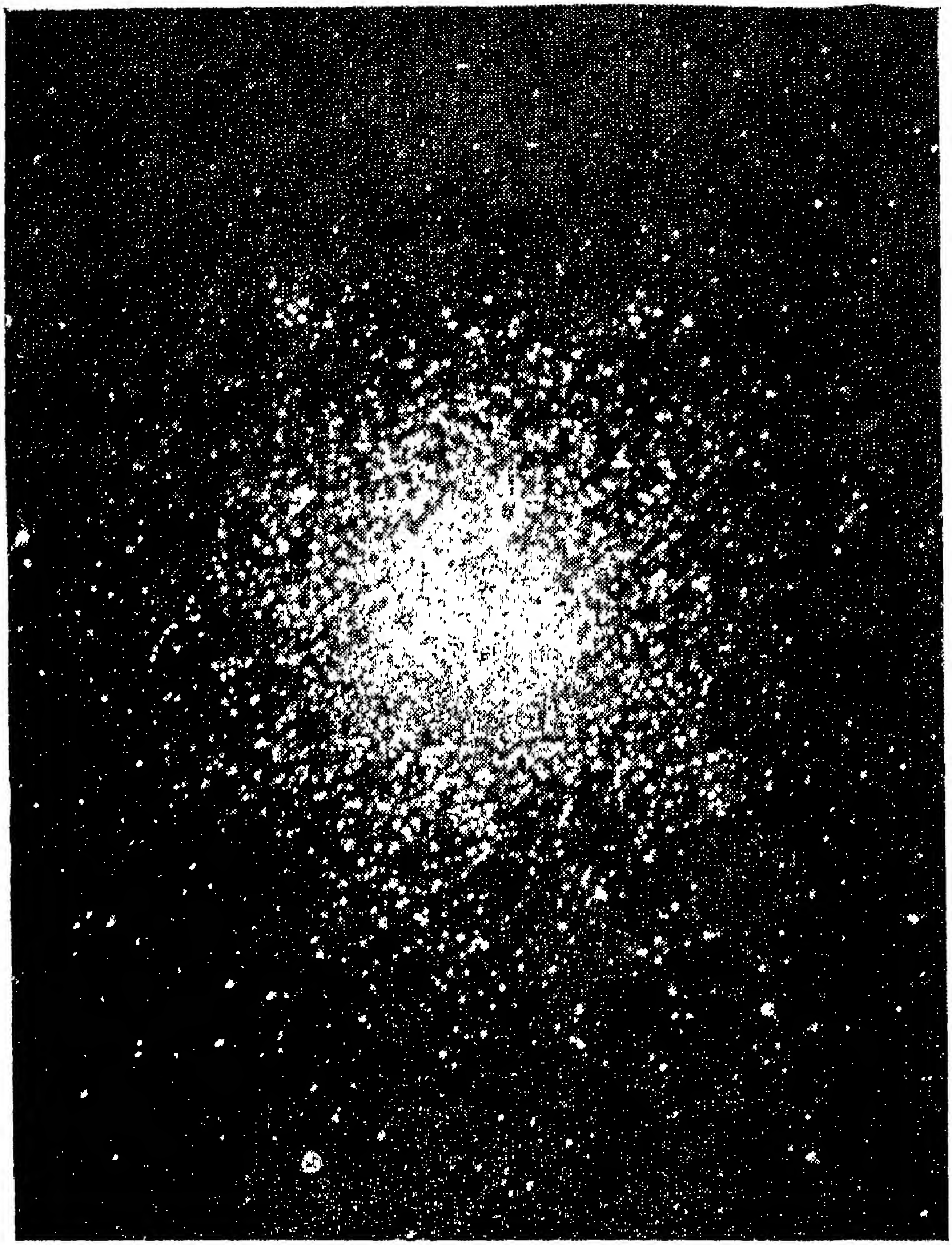


Fig. 91. — Un amas d'étoiles dans la constellation du Centaure.

HUITIÈME LEÇON

LES AMAS ET LES NÉBULEUSES.
LA VOIE LACTÉE

Si, par une belle nuit sans lune, vous examinez attentivement la voûte céleste, vous découvrirez çà et là quelques taches blanchâtres, comme dans Persée ou dans Andromède. Les anciens avaient donné à ces objets le nom général de *nébuleuses.* Avec l'emploi des lunettes, on vit distinctement que certaines de ses taches laiteuses se *résolvaient en étoiles* si pressées que l'œil non aidé d'instruments ne peut les distinguer une par une.

56. Les Amas stellaires.

Ce sont des *amas d'étoiles,* sortes d'agglomérations de soleils, qui semblent former des îlots distincts dans notre Univers. Sir William Herschel et son fils, sir John Herschel, en ont dessiné un grand nombre, mais la richesse de ces objets célestes n'a pu être révélée que par la photographie. Celle que j'ai reproduite ici est l'amas de *Oméga du Centaure,* cette constellation dont nous avons déjà parlé et qui contient les deux étoiles les plus rapprochées de notre Système solaire.

Oméga du Centaure est visible à l'œil nu comme une étoile diffuse de 4e magnitude, mais à la lunette il apparaît comme une collection fantastique de soleils (fig. 91). A ne compter que ceux qui sont bien distincts sur les bords, on arrive à un total de 6 400 étoiles. Il y a là 132 variables à très courtes périodes, qui nous ont renseignés sur la distance de l'amas. Celui-ci est à 21 000 années-lumière. C'est le plus proche de notre Système solaire. On connaît un amas si éloigné que la lumière ne met pas moins de 220 000 ans pour arriver jusqu'à nous !

Ces amas sont très nombreux dans le ciel ; ils sont si étendus qu'en moyenne la lumière met de 400 à 500 années à les traverser.

57. Les Nébuleuses.

Les anciens, nous l'avons vu, avaient classé les amas parmi les *nébuleuses* et, d'après eux, ces dernières étaient *résolubles* ou *non résolubles*. Là, encore, il a fallu la photographie pour mettre les choses au point. C'est elle qui nous a appris que bien des nébuleuses, même avec de forts grossissements, ne seront jamais résolubles en étoiles (fig. 92).

Certaines *nébuleuses diffuses* ne sont que des *amas de gaz* répartis sur de grandes étendues, sans forme bien définie. Telle est la *nébuleuse d'Orion*, bien visible dans de faibles lunettes. Elle occupe dans cette constellation une surface apparente de

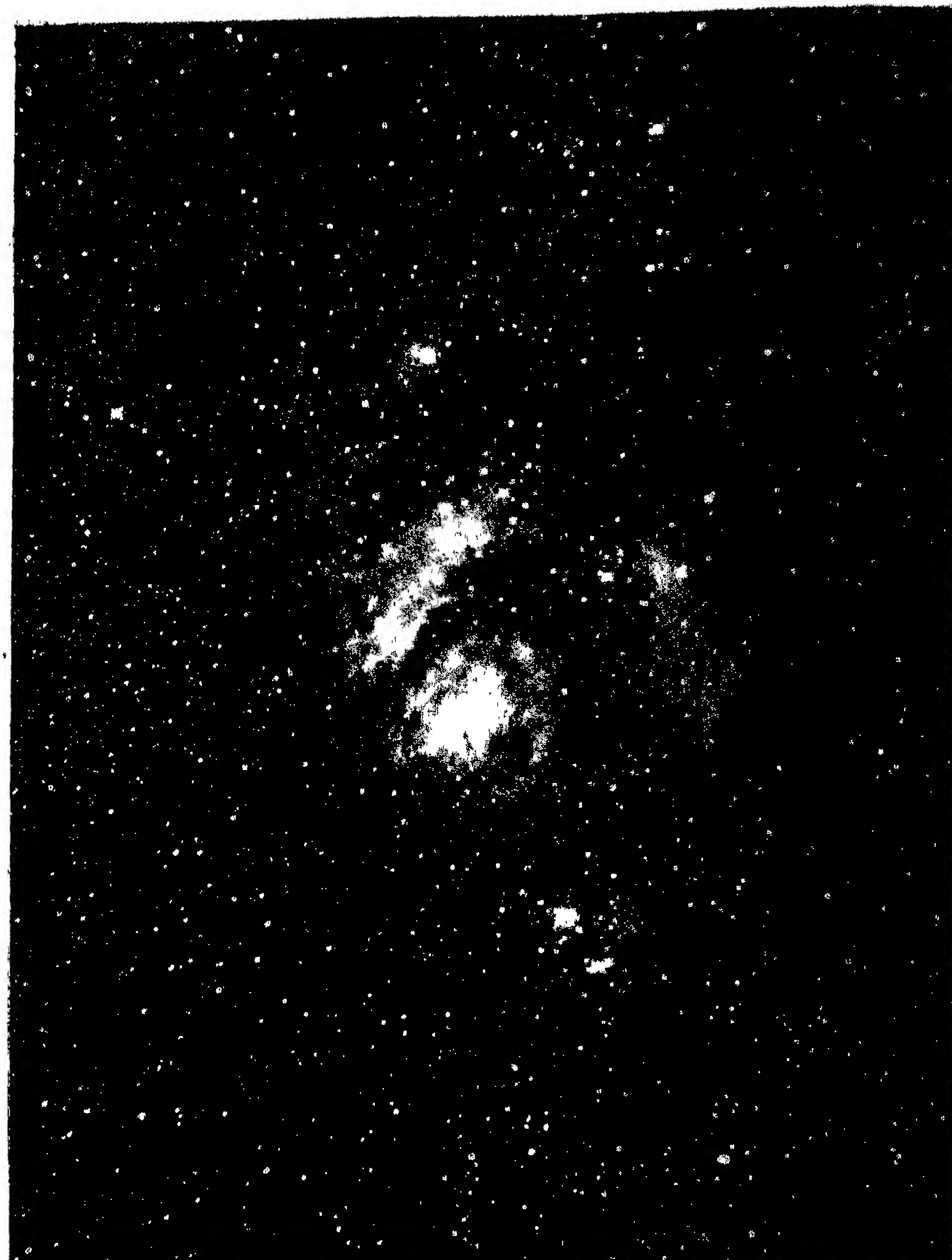


Fig. 92. — Une nébuleuse diffuse dans le Sagittaire.
(D'après une photographie.)

la grandeur de la Lune. En réalité, son diamètre est de 10 années-lumière environ, et elle est éloignée de nous de 600 années-lumière. Le spectroscope y révèle, comme dans toutes les nébuleuses gazeuses, la présence de l'hydrogène, de l'hélium, de l'azote et du carbone.

A côté de ces nébuleuses faiblement incandescentes, on trouve des *nébuleuses obscures* qui voilent les astres situés sur leurs bords ou au delà par rapport à notre situation dans l'espace sidéral. Certaines, toutefois, comme dans les *Pléïades*, sont éclairées par la lumière des étoiles avoisinantes.

Une troisième espèce de nébuleuses, qui appartiennent à nôtre Univers, sont les *nébuleuses* dites *planétaires* qui, généralement, sont formées de sphères gazeuses concentriques au milieu desquelles se trouve un noyau lumineux, une étoile géante probablement. On en connaît 150 de cette sorte.

Toutes ces nébuleuses se trouvent disséminées dans ce que nous appelons la *Galaxie*, c'est-à-dire la portion d'espace qui contient la *Voie lactée*. En dehors de cet espace assez bien déterminé et dont nous parlerons bientôt, on trouve des nébuleuses tout à fait différentes : ce sont les *nébuleuses spirales*, toutes très éloignées (fig. 93).

Ces objets renferment des étoiles par millions. D'après HUBBLE, un astronome américain qui les a étudiées avec le grand télescope de l'observatoire du Mont Wilson, il y aurait au moins 30 millions de

nébuleuses spirales que ce fort instrument pourrait enregistrer.

Ces objets sont généralement formés d'un centre assez brillant d'où partent deux branches lumineuses

Fig. 93. — Une nébuleuse spirale dans la Grande Ourse (d'après une photographie).

opposées et recourbées en forme de spires ; centre et spires sont formés d'agglomérations d'étoiles.

Nous reviendrons sur ce sujet en étudiant la Voie lactée.

58. La Voie lactée. Structure de l'Univers.

Cet immense ruban laiteux qui fait le tour du Ciel et qui constitue comme une ceinture d'étoiles à la

sphère céleste, c'est la *Voie lactée*. A quoi est due cette apparence ? C'est le problème que se posa WILLIAM HERSCHEL lorsqu'il entreprit ce qu'il appelait ses *jauges* stellaires. Il constata bientôt qu'il existe dans le ciel un plan où les étoiles ont eu tendance à se rassembler. Ce plan n'a rien de commun avec l'écliptique, puisqu'il est incliné sur ce dernier d'environ 60 degrés.

A mesure que nous nous éloignons de ce *plan galactique* pour nous diriger vers ses pôles, les étoiles et les amas stellaires se font de plus en plus rares. Par contre, le nombre des nébuleuses spirales, celles qui renferment des étoiles, paraît augmenter.

A la fin de ses travaux, HERSCHEL était arrivé à une conclusion générale qui n'a pas été infirmée depuis, au moins dans les grandes lignes. Notre Système solaire est plongé dans un vaste amas d'étoiles, dont la configuration rappelle une lentille biconvexe. Notre rayon visuel traverse-t-il la lentille suivant son épaisseur, nous ne pouvons apercevoir qu'un très petit nombre d'étoiles. Mais à mesure que nous dirigeons le même rayon visuel du côté des bords de cette sorte d'ellipsoïde très aplati, les étoiles se projettent les unes derrière les autres et semblent constituer une véritable ceinture, donnant la raison d'être de l'aspect de la Voie lactée (V. fig. 95).

HERSCHEL pensait bien que la *Voie lactée* doit s'étendre sur un espace immense, mais il ne pouvait être question à la fin du XVIII^{e} siècle de déterminer

la distance des plus lointaines étoiles de la Galaxie. Même avant 1915, on ne connaissait, pour évaluer les parallaxes stellaires, que la méthode trigonométrique et celle-ci, nous l'avons vu, ne peut plus arpenter le ciel, passé 400 années-lumière environ. Les plus hardis parmi les astronomes accordaient à la lentille galactique un diamètre de 14 000 années-lumière. Aussi, l'émoi fut-il grand lorsqu'un astronome américain, SHAPLEY, annonça qu'en utilisant les nouvelles méthodes, il était parvenu à mesurer la distance d'un amas stellaire situé au bord de la Galaxie, mais lui appartenant ; et que les étoiles de cet amas gravitaient à 220 000 années-lumière de notre Système solaire.

Actuellement, on admet que l'énorme lentille qui contient les étoiles de la Galaxie offre un diamètre d'environ 300 000 années-lumière, avec une épaisseur relativement faible de 10 000 années-lumière au maximum (V. fig. 95).

Comment sont distribués les étoiles au sein de cette vaste enceinte ? Nous l'ignorons et nous en sommes, sur ce point, toujours réduits aux hypothèses. En tout cas, il est certain que notre Système solaire est situé à peu près dans le plan équatorial de la Galaxie, mais assez loin du centre. Tous les amas stellaires dont nous avons parlé sont, ou bien sur les bords de la lentille galactique, ou bien à l'intérieur. Notre Soleil lui-même ferait partie d'un amas de ce genre, auquel on a donné le nom d'*amas local.*

Fig. 94. — Photographie d'une région de la Voie lactée.

On a émis récemment l'idée d'une rotation lente de la Galaxie. Toutes les étoiles, y compris notre Soleil, tourneraient autour d'un centre idéal en une période qui se chiffrerait par deux ou trois centaines de millions d'années. Inutile de dire que cette dernière opinion est très difficile à vérifier et restera peut être longtemps à l'état d'hypothèse.

Un autre résultat des mesures effectuées à l'aide des nouvelles méthodes nous a appris que toutes les nébuleuses spirales sont *extragalactiques.* Ces nébuleuses renfermant toujours un grand nombre de Céphéïdes, il a donc été possible de nous faire une bonne idée de leur distance. C'est ainsi que nous avons constaté que la belle *nébuleuse d'Andromède* est située à une distance de 870 000 années-lumière, donc bien au delà des limites de notre Galaxie. La *nébuleuse du Triangle* se trouve à la même distance, ou à peu près ; ce sont les plus proches. Toutes les autres accusent des distances bien supérieures. Ces nébuleuses ne font donc pas partie de l'immense agglomération galactique qui constitue à proprement parler *notre Univers.*

Dès que ces conclusions furent connues, on en prit prétexte pour ressusciter une vieille théorie d'HERSCHEL, qui supposait que toutes ces nébuleuses lointaines étaient autant de répliques de notre Galaxie : c'est la théorie des *Univers-Iles* ; mais ici, il faudrait s'entendre et ne pas jouer sur les mots.

Que ces nébuleuses spirales n'appartiennent pas

à notre Galaxie, d'accord ; mais on exagère un peu lorsqu'on en vient à les comparer à notre Voie lactée, immense, et qui contient 30 milliards d'étoiles au bas mot. Comme on connaît assez approximativement les distances des nébuleuses spirales, il a été

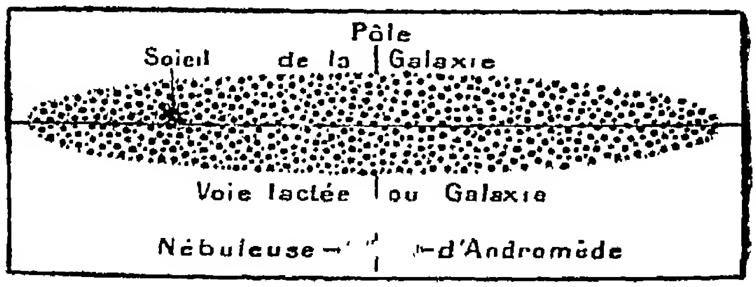


Fig. 95. — Grandeurs comparées de notre Voie lactée avec une grande nébuleuse, celle d'Andromède.

facile par leur diamètre apparent de calculer leurs dimensions. Or les deux plus grandes nébuleuses connues, celles du Triangle et celle d'Andromède, ne mesurent que 43 500 années-lumière dans leur plus grand diamètre. C'est le neuvième ou le huitième tout au plus, de notre Univers à nous, de notre Voie lactée (fig. 95).

Quant aux autres nébuleuses spirales, leurs dimensions sont toujours beaucoup plus restreintes et restent comprises entre 4 et 8 mille années-lumière. Avouez qu'il est un peu grotesque de vouloir les comparer à notre Univers galactique. Seulement, *Univers-Iles* est un mot à effet, une expression pittoresque qui laisse ouverte la porte à l'imagination et tout le monde s'accorde à reconnaître que les savants

n'en sont pas dépourvus. Heureusement ! sans les faiseurs d'hypothèses, la science mourrait d'inanition (1).

59. Grandeur et utilité de l'Astronomie.

Ici s'arrête ma tâche. J'ai essayé de mettre à la portée d'un esprit, disons « moyen », l'ensemble des principes et des méthodes que nous utilisons pour étudier l'Univers ; cependant, quel que soit le résultat que j'aie pu obtenir, je voudrais terminer ces modestes Leçons par un paragraphe destiné à montrer la grandeur, la beauté et même l'utilité de l'Astronomie. Les réflexions qui vont suivre m'ont d'ailleurs été inspirées par un jeune lecteur qui m'écrivait tout récemment ceci : « J'ai un ami qui se moque de ma passion pour l'Astronomie. Il prétend que cette science est toute spéculative et parfaitement inutile. L'argent que l'Etat dépense pour ses observatoires, serait mieux employé, ajoute-t-il, si l'on avait l'idée de s'en servir pour améliorer l'hygiène générale, créer des hopitaux, etc. ».

Evidemment, l'auteur de ces lignes est un ignorant et un simpliste, et il est navrant de penser que notre instruction primaire, en France, est si peu développée qu'un ouvrier puisse en être encore à ce stade bien

(1) Depuis un certain temps, on a essayé, un peu sans doute pour les besoins de la cause, de restreindre les dimensions de la Voie lactée, tout en augmentant celles des plus grandes nébuleuses : Nébuleuse d'Andromède et Nébuleuse du Triangle. Il faut donc attendre pour se prononcer définitivement.

inférieur à celui des anciens citoyens de l'Egypte ou de la Grèce.

Assurément, comme le disait Henri POINCARÉ : « Ce jeune homme n'a pas mis le nez dans notre budget de l'Instruction publique, sans quoi il aurait constaté que l'Etat français fait à peu près rien pour les observatoires et l'Astronomie.

C'est la même pensée qu'exprimait très récemment M. ESCLANGON, le savant Directeur de notre Observatoire National de Paris. Après avoir rappelé ce qui s'est fait à l'étranger pour la science d'Uranie, il ajoutait : « En France, ce mouvement général qui, depuis trente ans, a révolutionné l'Astronomie, n'a pas encore été suivi et le tournant décisif reste encore à franchir... Depuis de longues années, les astronomes français réclament avec insistance les moyens matériels qui leur manquent dans les voies nouvelles de la Science ; ces moyens exigent des sacrifices pécuniaires que, jusqu'ici, ils n'ont pu obtenir.

« Aussi le recul est resté complet ; l'outillage de nos Observatoires est celui du siècle dernier... En France, on a reculé devant la dépense... Comme la question se présente sous la forme du *tout ou rien*, c'est la solution du *rien* qui a prévalu jusqu'ici et le recul scientifique reste entier ».

A quoi sert donc l'Astronomie ? Veut-on la taxer de spéculation ? Si oui, ce ne serait pas une raison pour la condamner, sans quoi il faudrait proscrire l'enseignement de tous les arts. Autant demander à

quoi sert la peinture, fermer le Louvre et le Muséum, avec le Jardin des Plantes ! Et il faut être peu évolué pour ignorer que toute science spéculative a, tôt ou tard, une répercussion dans tous les domaines des sciences. Mais l'Astronomie nous présente d'autres titres pour qu'on la cultive et qu'on la tienne en honneur.

C'est pour elle que l'Homme a imaginé et perfectionné l'Analyse mathématique, dont l'utilité est incontestable dans tous les domaines où évoluent les constructeurs et les mécaniciens. A un point de vue plus directement utilitaire, c'est l'Astronomie qui a fourni et qui fournit encore aux explorateurs et aux marins des procédés de haute précision pour déterminer leur position sur le Globe terrestre et la possibilité de se guider sur les océans. Tout ce que la civilisation moderne, la vie de chaque jour et de chacun de nous doivent à la navigation intelligente, nous le tenons de l'Astronomie.

C'est encore l'Astronomie qui nous apprend à mesurer le temps, à supputer les années, à dresser un calendrier exact, et par conséquent à rendre possible des horaires précis pour la marche toujours accélérée de nos convois. C'est encore à elle que nos physiciens doivent les plus précieuses acquisitions : la Spectroscopie a créé la Chimie moderne et certains éléments terrestres ont été découverts par les Astronomes, dans le ciel, avant d'être même soupçonnés par nos laboratoires de Chimie et de Physique. En

étudiant les étoiles, c'est l'Astronomie qui a ouvert à nos physiciens ces horizons nouveaux et étonnants sur la constitution de la matière et sur ses transformations : la vie des éléments chimiques n'est elle pas inscrite tout entière dans les soleils qui peuplent l'immensité ? Qui donc a déchiffré les hiéroglyphes enregistrés par nos spectroscopes adaptés à de puissantes lunettes, sinon l'Astronome. Et si nous revenons sur notre planète, n'est-ce pas les astronomes encore qui furent les créateurs de la Géodésie.

L'enfant qui ouvre son Atlas ne s'en doute pas, mais les maîtres qui l'instruisent pourraient peut-être lui ouvrir les yeux (1).

60. A un point de vue tout différent, parce que hautement philosophique, n'est-ce pas l'Astronomie qui nous enseigne la place que nous occupons dans l'Univers et qui nous donne, en même temps qu'une conception exacte de notre petitesse matérielle, une haute idée de la grandeur et de la valeur de notre pensée. Que l'Homme soit capable de s'échapper de la Terre et de supputer ces distances formidables qui séparent les astres ; qu'il soit parvenu à peser les mondes, qui gravitent dans les abîmes insondables, aux balances rigoureuses de l'Analyse mathémathique ; qu'il puisse prévoir leur marche, leurs mouvements, leurs révolutions ; qu'il annonce des années à l'avance l'heure des marées, et celles des

(1) Ils en seraient bien en peine. Même dans l'enseignement secondaire, l'Astronomie est traitée en parent pauvre

éclipses à la seconde précise où elles doivent se produire, n'y a-t-il pas là de quoi magnifier l'esprit humain et lui faire comprendre le rôle qu'il doit remplir dans un monde où les forces matérielles sont sans cesse en lutte contre son existence.

En nous initiant aux lois merveilleuses qui gouvernent les astres semés à profusion dans les abimes célestes, l'Astronomie, enfin, nous fait toucher du doigt la nécessité d'une Puissance et d'une Pensée infinie qui a créé l'Univers, qui le dirige, lui conserve l'existence et le mène vers un but déterminé, connu de son Créateur.

TABLE DES MATIÈRES

(Les nombres dans la Table renvoient aux nos du texte.)

ÉVREUX. — IMPRIMERIE H. DÉVÉ. — 6-6-1958
DÉPOT LÉGAL 2me TRIMESTRE 1958 N° D'ÉDITION 622
N° DE L'IMPRIMEUR : 275